

DIPLOMAMUNKA

Takács György

TAKÁCS GYÖRGY

2023

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

SZŐLÉSZETI ÉS BORÁSZATI INTÉZET

BUDAPEST

**Borok hideg stabilitásának vizsgálati lehetőségei és stabilizálásának módszerei**

Takács György

Szőlész-borász mérnök Msc

Készült a Borászati Tanszéken

Tanszéki konzulens: Szövényi Áron Pál

Konzulens(ek): \_\_\_\_\_

Bírálok: \_\_\_\_\_

Budapest, 2023.05.02.

\_\_\_\_\_  
tanszékvezető/szakirányfelelős

\_\_\_\_\_  
konzulens

## Tartalomjegyzék

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | Bevezetés .....   | 5  |
| 2.     | Célkitűzés .....  | 6  |
| 3.     | Irodalmi áttekintés .....   | 7  |
| 3.1.   | Hidegstabilitást befolyásoló tényezők .....                       | 7  |
| 3.2.   | Kálium, kalcium és a borkősav jellemzése .....                    | 7  |
| 3.2.1. | Kálium .....  | 8  |
| 3.2.2. | Kalcium .....   | 9  |
| 3.2.3. | Borkősav .....  | 9  |
| 3.3.   | Kálium-hidrogén-tartarát és kalcium-tartarát jellemzése .....     | 11 |
| 3.3.1. | Kálium-hidrogén tartarát (KHT) .....                              | 11 |
| 3.3.2. | Kalcium-tartarát (CaT) .....                                      | 11 |
| 3.4.   | Hidegstabilitás .....   | 11 |
| 3.4.1. | Kolloid és kiválás .....  | 12 |
| 3.5.   | Borkősavas kiválások .....  | 13 |
| 3.6.   | A hidegstabilitás lehetséges előrejelzése .....                   | 20 |
| 3.6.1. | Hűtőszekrényes vizsgálat .....                                    | 20 |
| 3.6.2. | Mini-kontakt teszt (Elektromos vezetőképesség alapján) .....      | 20 |
| 3.6.3. | A Wurdig-teszt, a telítettség fogalma és a bor hőmérséklete ..... | 21 |
| 3.6.4. | Hőmérséklet és stabilizáció .....                                 | 23 |
| 3.6.5. | Szoftver .....  | 25 |
| 3.7.   | Hidegstabilizálás lehetséges módszerei .....                      | 25 |
| 3.7.1. | Lassú hidegkezelés kontaktáló anyag nélkül .....                  | 26 |
| 3.7.2. | Gyors hidegstabilizálás: Statikus (Kontakt folyamat) .....        | 26 |
| 3.7.3. | Dinamikus folyamatos .....  | 27 |
| 3.8.   | A kalcium-tartarát kiválás megelőzése .....                       | 27 |
| 3.8.1. | A metaborkősav használata .....                                   | 28 |
| 3.8.2. | Élesztő mannopeptidek használata .....                            | 29 |
| 3.8.3. | Karboximetilcellulóz .....  | 29 |
| 3.8.4. | Ioncserélők .....   | 29 |
| 3.8.5. | Az elektrodialízis .....  | 30 |
| 4.     | Anyag és módszer .....  | 34 |
| 4.1.   | Kalcium mérés .....   | 39 |
| 4.2.   | Kálium mérés (lángfotometriás módszerrel) .....                   | 40 |
| 4.3.   | HPLC berendezés és mérések .....                                  | 41 |
| 5.     | Eredmények és megvitatásuk .....                                  | 42 |
| 5.1.   | Hidegstabilitás vizsgálata oldhatóság alapján .....               | 43 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.2. | Hidegstabilitás vizsgálata kontaktáló anyaggal történő kezelés után, vizuális vizsgálattal..... | 46 |
| 5.3. | Hidegstabilitás vizsgálata kontaktáló anyag segítségével.....                                   | 48 |
| 6.   | Összegzés.....  | 52 |
| 7.   | Köszönetnyilvánítás.....  | 55 |
| 8.   | Irodalomjegyzék.....  | 56 |
| 9.   | Ábrajegyzék.....  | 58 |
| 10.  | Táblázatjegyzék.....  | 59 |
| 11.  | Mellékletek.....  | 60 |

Takács György

## 1. Bevezetés

A borászat fejlődésével egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk a borok tisztaságára mind fogyasztói, mind termelői oldalról. Igaz, el kell ismernünk, hogy az utóbbi évtizedben nagy figyelmet kapott és újra népszerű lett a derítetlen, szűretlen borok készítése. Ezen kívül, mint régi-új technológia a *Pétillant Naturel* is nagy figyelmet vívott ki magának. Ezek közé tartozik a *Pét-Nat* is, amely „ősi borkészítési eljárással” készül, más néven "*rurale*", "*artisanale*" vagy "*gaillacoise*" technológiával. A Pét-Nat-ot nem degorzsálják, és az erjedés befejeztével szűrésre kerülhet, vagy szűretlen is maradhat. Amennyiben szűrés nélkül történik a forgalomba hozatal, biztosak lehetünk benne, hogy a palack felbontása után nem lesz teljesen tiszta a Pet Nat. Azonban a fentebb említett technológiával készített borok után érdeklődők száma még mindig csekély a bort fogyasztó összes emberhez képest. Azok, akik ezen bortípusokat fogyasztják, ismerik és fel is vannak rá készülve, ha egy opálos bort kóstolnak. Viszont az emberek döntő többsége elvárja, ha bort fogyaszt, hogy az tiszta és tükrös legyen, a palackban ne legyen üledék, zavarosság vagy opálosság. Amennyiben a felsoroltak valamelyike előfordul a bornál, akkor az már a fogyasztóban bizalmatlanságot ébreszt, és ha érzékszervileg a bor rendben is van, nem biztos, hogy el fogja fogyasztani. Sőt, nagy eséllyel a borászat iránt is megrendül a fogyasztói hűsége. Tehát nem tekinthetjük elegendőnek, hogy az adott bor a palackozás pillanatában tiszta legyen, garantálnunk kell azt is, hogy hosszabb tárolás esetén is az maradjon.

A tradicionális borkészítés során a bor stabilitását különböző klasszikus műveletekkel érték el, ezek közül a legfontosabb a hosszú időn át tartó fahordóban érlelés, időközönként pedig az üledékről történő lefejtés. A hosszú periódus alatt a bor a fejtések és a levegővel történő érintkezés miatt viszonylag stabil állapotot ért el. Egyes esetekben azonban a palackozást követően ezek a borok ismételtlen megzavarosodtak. Így ez a megoldás sem jelentett százszázalékos védelmet a borok nem kívánatos opálossága ellen.

A fogyasztói szokások sokat változtak az elmúlt évtizedekben, és egyre nagyobb igény mutatkozik a fogyasztók részéről olyan borok iránt, amelyek frissek, üdék, és a szőlőre jellemző elsődleges aromákból lehetőleg minél többet tartalmaznak. A fahordós, több éves érleléssel, levegőztetéssel járó technológia viszont nem garantálja az újabb, jelenlegi fogyasztói igényeknek megfelelő bor elkészítését. Ezért szükségessé vált olyan újabb, gyorsabb módszerek kidolgozása, amelyek lehetővé teszik a borok stabilá kezelését rövid időn belül. Ahhoz, hogy ezt a problémát meg tudjuk oldani, ismernünk kell a borokban előforduló különböző anyagokat, amelyek a kiválásért felelősek lehetnek. „Tanulmányoznunk kell a borokban lévő különböző anyagok állapotát, a vas és réz megjelenési formáit, a fehérjéket, a pektin-, gumi- és mézgaanyagokat, a pH értéket, a színyanyagok kolloid állapotát.” (Prof. Kállay, 2010)

## 2. Célkitűzés

Ha egy bor stabilitásáról beszélünk, akkor az alábbi szempontok alapján tudjuk osztályba sorolni őket: mikrobiológiai, fehérje-, borkő-, és szín stabilitás. A stabil, jóízű borok előállításának problémái minden bortermelőt foglalkoztatnak. A múlt évszázad vége felé még volt rá példa, hogy a borászatok instabilitással rendelkező borokat kínáltak fogyasztóiknak úgy, hogy még mindig versenyképesek maradtak. Napjainkban ez már elképzelhetetlen, noha új trendek is hódítanak a borpiacokon (szűretlen, derítetlen borok, natúrborok), de ezen borok elfogadottsága még mindig megosztja a fogyasztókat. Egy szűkebb fogyasztói kör elfogadja az ilyen termékeket, azonban általánosságban elmondható, hogy a szakma jelentős hányada és a fogyasztók többsége még mindig félkész termékeként gondol ezen italokra. Az elmúlt évtizedekben a borászati technológia és a borászat gépesítése nagymértékben fejlődött. A korszerű berendezések szinte minden borászat számára elérhetőek lettek. A jól képzett borász szakemberek már minden borászatban megtalálhatóak, az elméleti és a gyakorlati szakmai tudás mindenhol jelen van. Az említett változások miatt a borászatok között zajló harc a fogyasztóképes keresletért egyre nagyobb mértékű lett, hiszen szerencsére egyre kisebb különbségekkel, egyre jobb borok kerülnek a fogyasztók asztalára. Ezért fontos megértenünk, hogy hibás borral jelenleg nem lehetünk már versenyképesek. Ha egyszer opálos, esetleg üledékes bort kínálunk fogyasztóinknak, valószínűleg következő alkalommal már valamely versenytársunk bora fog az asztalukra kerülni. Kiemelten fontosnak tartom, hogy minden borász megértse a borok stabilitását befolyásoló tényezőket, és a termék stabilitásának elérése érdekében dolgozzon. Kutatásom témájául azért választottam a „borok hideg stabilitásának vizsgálati lehetőségei és stabilizálásának módszereit”, mert munkám során már sokszor okozott nehézséget, és szeretném, ha más hasonló problémákkal küzdő szakemberek is tudnák hasznosítani tapasztalataimat és eredményeimet saját munkájuk során. Mindazonáltal nem tekinthetünk el attól a tényőtől sem, hogy az utóbbi időszakban Európa-szerte megfigyelhető, hogy a kálium, de főképp a kalcium koncentrációk egyre nagyobb értékeket mutatnak a szőlőből préselt mustokban. A klímaváltozás szélsőséges időjárási viszonyosságai a 2022-es évjáratban is megfigyelhetőek voltak. A szőlőnövény jó alkalmazkodó képessége ellenére a szélsőséges időjárási körülmények hatására az egyes fenológiai fázisok időtartama lerövidülhet (Jones, 2007). Ezért a zsendülés és termésérés hamarabb, magasabb hőmérsékleten játszódik le. (Keller, 2010.) A cukortartalom emelkedik, ezáltal a bor alkoholtartalma is növekedni fog. A klímaváltozás hatására a szőlőnövényt a vegetációs időszak alatt egyre több olyan stresszhatás éri, mint az UV-B sugárzás mértékének emelkedése (Shultz, 2000) a tápanyagellátottsági problémák és a szárazságstressz. Ezen hatások együttesen hozzájárulnak ahhoz, hogy évről évre a mustok kálium és kalcium tartalma növekedő tendenciát mutat. (Bene, 2022) A szüreti időpontok is korábbra tolódtak, viszont a mustok pH értéke a megfelelő mustfok elérésekor már magasabb, mint 15-20 évvel ezelőtt. A magasabb alkoholtartalom is negatív irányba befolyásolja a borkőstabilitást. Ezért is fordulhat elő, hogy olyan szakemberek, akiknek ezelőtt 10 évvel még nem volt borkő stabilitással problémájuk, az utóbbi évjáratokban rendre nehézségekkel küzdenek, és a borászati segédanyagokkal foglalkozó szakemberekhez kell fordulniuk segítségért a problémájuk megoldása érdekében.

### 3. Irodalmi áttekintés

#### 3.1. Hidegstabilitást befolyásoló tényezők

A szőlő, a must és a bor természetes ásványi összetevői közé tartozik a kalcium és a kálium. Ezek ionos és komplex formában, hidratált állapotban vannak jelen a borban. Néhány, az ugyancsak jelenlévő szerves savval – főként a borkősavval, de vegyesen borkősavval és almasavval is – ezek az ionok oldhatatlan sókat képezhetnek.

kálium-bitartarát (KHT)

kálium-tartarát (K<sub>2</sub>T)

kalcium-tartarát (CaT)

kálium-kalcium-tartarát

kalcium-tartomalát

A kis mennyiségben megtalálható sók:

Oldhatóság szempontjából abban különböznek, hogy a kálium-kalcium-tartarát jól oldódik, míg a kalcium-tartomalát viszonylag oldhatatlan és kristályosodik. Ezen vegyes sók általában almasavbontáson átesett tételekben jelennek meg kis mennyiségben.

Az oldhatatlan sók közül a legtöbb problémát a palackos borokban a kálium-hidrogén-tartarát és a kalcium-tartarát okozza. A leggyakoribb borkőkiválásnak ez a két vegyület az okozója. Diplomadolgozatomban ezen két só kiválásának folyamatával szeretnék részletesen foglalkozni.

#### 3.2. Kálium, kalcium és a borkősav jellemzése

A szőlőnövény az anyagcsere folyamatok során a talajból vesz fel oldott, éghetetlen, szervesetlen kationokat és anionokat, amik a vegetáció alatt a szőlő és a must ásványi anyagai lesznek. A szőlő is azon növényi termékek közé tartozik, amelyek jelentős ásványi anyagot tartalmaznak. Ezen anyagok közül az alábbiak találhatóak meg benne nagyobb mennyiségben:

foszfor

kén

kálium

nátrium

kalcium

magnézium

szilícium

vas

mangán

Ezen anyagokon felül még megtalálhatóak a szőlőben kisebb mennyiségben az alábbi elemek is:

fluor

klór

jód

alumínium

bór

titán

rubídium

molibdén

A szőlő életében ezek is kulcsfontosságú szerepet mutatnak, hiszen a szállítóedény-rendszeren keresztül eljutnak a termésbe és ezáltal a feldolgozást követően a mustban is megjelennek. Az ásványi anyagok nagy mennyiségben a szőlő szilárd részeiben koncentrálnak. Megtalálhatóak a szőlőhéjban, magokban, a bogyóhús sejtszövetének cellulózpektines falaiban. Ebből kifolyólag maga a szőlőlé aránylag alacsony ásványi anyag koncentrációval rendelkezik, és a későbbiekben ezért is lesz kiemelten fontos a szőlőfeldolgozás technológiája is, hiszen előrevetíthető, hogy egy hosszabb bogyózás utáni áztatási ciklus jelentős mértékben meg tudja emelni a mustok ásványi anyag koncentrációját. A szőlőnövény ásványi anyag felvételét az alábbi paraméterek befolyásolják leginkább: az időjárás, talajtípus, tápanyagellátás, az adott fajta érettségi állapota, művelésmód, tőketerhelés. (Csikász-Krizsics & Diófási, 2008). Itt külön megemlíteném a különböző terméskövelő anyagok használatát, mert a kálium és kalcium szinteket sokszor meglepő mértékben képesek befolyásolni (Csikász-Krizsics & Diófási, 2008).

Az ásványi anyagok közül a legfontosabb és legnagyobb mennyiségben előforduló anyagokat emelném ki, amelyek az alábbiak:

**a, kationok:**

kálium

magnézium

kalcium

nátrium

**b, anionok:**

karbonát

foszfát

szulfát

klorid

A későbbiekben a kalciummal és a káliummal még részletesebben foglalkozom.

A vízhiányos évszakok esetén kisebb mértékű ásványi anyag felvétel figyelhető meg, mint csapadékosabb évszakokban. Ennek kiváltó oka lehet, hogy a kálium és a kalcium felvétel vizes oldatokban van jelen a talajban és így is történik a talajból ezen anyagok felvétele. A csapadékmennyiségen felül fontos még a nyári időszak hőösszege is, hiszen, ha a megfelelő talajnedvességet feltételezzük, akkor a párolgás az, ami a növényi nedvkeringést szabályozza. (Prof. Kállay, 2010)

### **3.2.1. Kálium**

A kálium nagy jelentőséggel bír a növényi szervezet számára, hiszen fontos szerepet játszik a transzportfolyamatok szabályozásában, ezért a növény igyekszik nagy mennyiségben felvenni a talajból. A kálium



elengedtetetlen az ozmotikus potenciál fenntartásához, ehhez kapcsolódik a sztóma-mozgásban betöltött funkciója is. (Fischer, 1971) A káliumnak fontos szerepe van a növényben végbemenő anyagcsere koordinálásában is. Nélkülözhetetlen eleme a floem-transzportnak. (Mengel & Viro, 1974.) Az érés ideje alatt a kálium hatására átjárhatóbbak lesznek a sejtfalak, melyek a tartalék tápanyag betárolásához szükségesek. (Prof. Kállay, 2010)

### 3.2.2. Kalcium

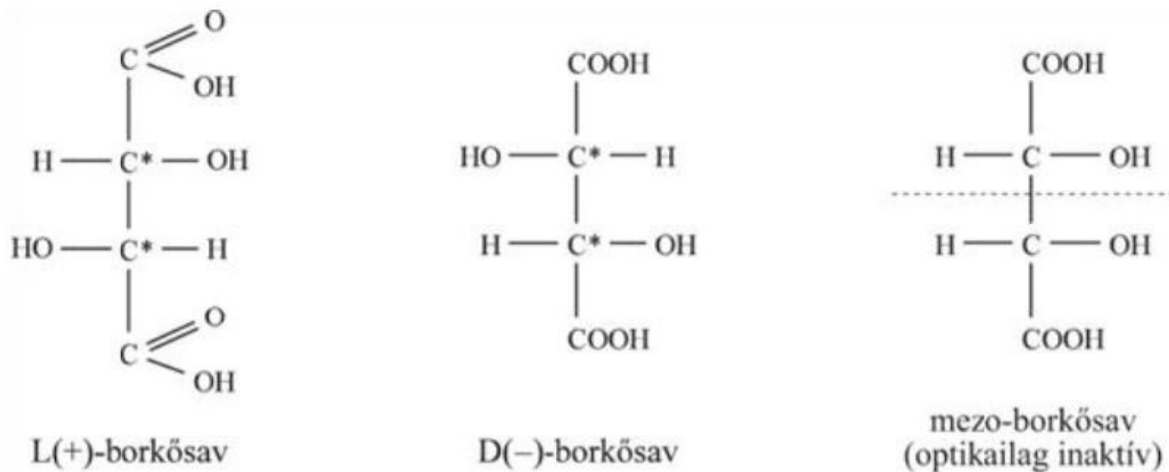
A szőlőnövény fás részeiben fordul elő nagyobb mennyiségben, a legkisebb mennyiségben a mustban található. A szőlőnövény nitrogén ellátottsága nem befolyásolja a szőlő kalciumtartalmát. Mennyisége az érés folyamán csökken, mustokban általában 40-160 mg/l mennyiségben fordul elő. (Prof. Kállay, 2010) A kalciumot, amely alapvető növényi tápanyag, a gyökérrendszer veszi fel, és a xilémrendszeren keresztül a szimplasztikus és apoplastikus transzport révén jut a növények felső részeibe, ezen a transzport útvonalon kerül a termésbe is. (White, 2001) Ezenkívül a kalciumtartalom összefügg a kórokozók ellenálló képességgel. Például a szőlőbogyóban a magas kalciumkoncentráció hozzájárul az öregedés késleltetéséhez és a *Botrytis cinerea*val szembeni ellenállóképeség növekedéséhez (Chardonnet & Donéche, 1995). Számos tanulmány kimutatta, hogy a kalcium a szőlőbogyókban a fejlődésük során felhalmozódik (Schaller, Löhnertz, & Chikkasubanna, 1992.), míg mások szerint a kalcium felhalmozódása a zsendülést követően megszűnik. (Donéche & Cabanne, 2003) Valószínűsíthető, hogy az érés kezdetét követően a magok kivételével a kalcium felhalmozódás a bogyóban tényleg megszűnik, azonban a magokba még történik kalcium beáramlás az érés végéig, ezáltal csak a magok kalcium tartalma emelkedik a bogyón belül az érés ideje alatt. (Donéche & Cabanne, 2003)

### 3.2.3. Borkósav

Három, zömmel nagyobb mennyiségben megtalálható szerves sav alkotja a szőlőbogyó savtartalmát. Ezek a borkósav, almasav és kisebb mennyiségben a citromsav. Csekély mennyiségben még megtalálható a zöld szőlőben: oxálsav, glikolsav, glioxilsav és borostyánkősav. A bogyó alkotórészeinek mennyiségi változása a beáramlás, a lebomlás és a hígulás során megy végbe, amely a bogyóba érkező víz következménye. A szőlőlé savtartalmának változása az érés alatt az alábbi folyamatokkal magyarázható: hígulás a bogyóba érkező víz következtében, légzési elégással, lebontással, vagy a savak leköötődésével. A gyökerek irányából érkező bázisok által a bogyó savainak egy része leköötődik, azonban ez csak látszólagos jelenség, mert a bogyóban a kötött savak felhalmozódása történik, amely a légzés során már nem bomlik le. A kötött savak mennyiségének aránya az érés során az idő múlásával növekszik. Jól megfigyelhető különbség van egyes évjáratok között a borkósav és almasav mennyiségében és azok arányában is. Azonban általánosságban elmondható, hogy a zsendülés időszakában még az almasav van túlsúlyban a borkósavval szemben a bogyóban. Viszont az érés folyamán a mennyiségek megcserélődnek és a borkósav mennyisége lesz nagyobb mértékű, mint az almasavé. A savtartalom változás az érés alatt az almasav mennyiségi csökkenésének tudható be. Az érés során a borkósav mennyisége jelentősen nem változik. Egyedüli kivételek azok az évjáratok lehetnek, ahol az időjárási tényezők miatt az érés közben ingadozik a borkósavtartalom. Ez azért lehetséges, mert a látszólagos borkósavtartalom mennyiségi stagnálása, az állandó folyamatos beáramlásnak és lassú elégésnek köszönhető. Azonban, ha ezek a folyamatok nem oltják

ki egymást, hanem eltérő intenzitással működnek, akkor előfordulhat a borkősavtartalom ingadozása. Megfigyelhető, hogy a hosszabb meleg, száraz időszakok kedveznek a borkősavtartalom csökkenésének, viszont a csapadékosabb időszakokban rendszerint megfigyelhető a növekedés. (Prof. Kállay, 2010)

Borkősav (COOH-CHOH-CHOH-COOH):



**1. ábra:** L(+)-borkősav, D(-)-borkősav és optikailag inaktív borkősav szerkezeti képlete

A borkősav egy kétbázisú oxisav, melynek két aszimmetrikus szénatomja van. Szerkezetének szimmetrikussága miatt azonban  $2^2=4$  helyett, csak két optikailag aktív izomér alakja van: a balra forgató D-borkősav és a jobbra forgató L-borkősav. Ezekon kívül rendelkezik még egy optikailag inaktív alakkal, a mezo-borkősavval (1.ábra). Az L(+)-borkősav van jelen a szőlőben és a mustban, amely színtelen, szagtalan, monoklin prizmákban kristályosodik, alkoholban és vízben jól oldódik. Megtalálható a szőlő minden részében. A szőlő fenológiai érettségekor az átlagos koncentrációja mustokban 4-8 gramm/liter. Azonban termőterülettől, évjáratától, fajtától és technológiától is nagyban változhat a koncentrációja. A szőlő szerves savai közül a legerősebb és a legállandóbb. A mustokban megtalálható összes borkősavtartalomnak 40-50 százaléka kötött formában van jelen. Borászati szempontból sói közül az alábbiak a legfontosabbak:

-félig kötött káliumsója, kálium-hidrogén-tartarát

-kötött, semleges kalciumsója, kalcium-tartarát.

Az erjedés alatt képződő alkoholtartalom miatt, a két só csekély oldhatósága következtében, általában kiválás formájában csökken az összes borkősavtartalom mennyisége. Ez a folyamat természetesen a mustok kötött borkősav koncentrációjától függ. Tehát minél magasabb egy must kezdeti kötött borkősavtartalma, az erjedés végére annál nagyobb mértékben fog ez lecsökkeni, azaz kiválás formájában a must alján vagy a tárolóedény falán megjelenni.

### **3.3. Kálium-hidrogén-tartarát és kalcium-tartarát jellemzése**

#### **3.3.1. Kálium-hidrogén tartarát (KHT)**

A kálium-bitartarát (KHT) feltehetően a zsendülés után keletkezik a káliumnak a talajból a gyümölcsbe történő bejutása során. Az érés során a nem disszociált borkősav mennyisége csökken, ahogy a mono- és dibázikus káliumsók képződnek. Ezzel párhuzamosan a borkősav eltérő arányokban hígul fel a fajtától, évről-évre és az éghajlati viszonyoktól függően. Ezenkívül a borkősavtartalmat a termőhely, a termesztési gyakorlat és az érettségi állapot is befolyásolja. A szőlő káliumfelvétele olyan tényezőktől függ, mint például az alanyok, a talaj típusa és mélysége, az öntözéses kezelés, tápanyagok megfelelő jelenléte és aránya. Ezen termesztési tényezőkön felül nem elhanyagolható az ültetvény vegetációs időszakában történő növénykondicionáló szerek felhasználása sem, és természetesen a tőkék terhelése sem. Így mind a borkősav, mind a káliumtartalom nagy különbséget mutat a fajtától, a régiótól, az éghajlattól és a szőlőműveléstől függően. A kálium-bitartarát tökéletesen oldódik a mustban. Emellett vízben is tökéletesen oldódik, azonban alkoholban viszonylag oldhatatlan. Így a híg alkoholos oldatban, 10%-os v/v alkoholtartalomban 20°C-on, az oldhatósága mindössze 2,9 g/l. A bor káliumkoncentrációja gyakran 780 mg/l vagy több, azaz 3,76 g/l kálium-bitartarát. Ezért általánosságban elmondható, hogy a sókoncentráció nagyobb, mint a só oldhatósága ezen a hőmérsékleten.

#### **3.3.2. Kalcium-tartarát (CaT)**

A kalcium-tartarát egy viszonylag oldhatatlan só, tizedannyira oldódik, mint a kálium-bitartarát. A bor alkotóelemi közé tartozik, azonban más úton is a borba kerülhet. Lehet véletlenszerű szennyeződésekből, például: beoldódhat kalcium-bentonitból, kalcium-karbonátból savtompítás során, vagy akár szennyeződésként a felhasznált szacharózból. Egybevetve a pH-érték növekedésével együtt ez a borban egyfajta sótürelítettségi állapotot eredményez, amely kristályos kiváláshoz vezethet (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006). A tartarát kicsapódás valós veszélyét az jelenti a palackban, ha a vörösborok kalciumtartalma meghaladja a 60 mg/l-t, a fehérboroknál pedig a 80 mg/l-t. Azóta már tudjuk, hogy ez az ökölszabály nem teljesen igaz, hiszen a védőkolloid ebben az esetben is befolyásolja a tartarát oldatban maradását. A borok stabilizálása a kicsapódás megakadályozása érdekében mindenképpen szükséges. Sajnos a KHT kicsapódása nem feltétlenül okoz olyan mértékű CaT kristályosodást, amely miatt a bor stabilitása kalcium-tartaratra megfelelő mértékű lenne. Sajnos csak hőmérséklet változtatással nem tudjuk a CaT kiválását előidézni, mert a CaT oldhatósága nem kifejezetten érzékeny a hőmérsékletre. (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006)

### **3.4. Hidegstabilitás**

Míg a kálium-hidrogéntartarát kiválás az oldhatósági szorzata alapján jól előrejelezhető, és nagyrészt az erjesztés miatti alkoholtartalom emelkedése, valamint hidegkezelés alkalmazása esetén, az oldhatóság hőmérséklettel való csökkenése miatt gyorsan precipitálódik, addig a kalcium-tartarát kiválás kockázatának becslése már bonyolultabb. A kalciumionoknak a fehérjékkel, cukrokkal, polifenolokkal és egyéb makromolekulákkal való komplex képzésre való nagyobb affinitásuk miatt hónapokig-évekig tartó „látszólagos” stabilitásuk van a borban. Ezért csak a bor érlelése, a makromolekulák különféle reakciói, a kolloid rendszer

átalakulása során kezdenek kiválni. A kalcium-tartarát oldhatósága ráadásul csak kismértékben függ a hőmérséklettől, így a stabilizáció egyszerű hidegkezeléssel nem megoldható.

A hosszú távú borkőstabilitás azért fontos, mert a palackozott borban a szélesebb borfogyasztói közönség miatt már egyre kevésbé elfogadott a borkő jelenléte. Másrészt a friss, reduktív technológiával készült borok viszonylag hamar palackba kerülnek, így nincs idő a természetes stabilizálódásra. Az egyik legfontosabb paraméter, amely meghatározó lehet a bitartarát kiválásában, a tárolási hőmérséklet. Azonban többnyire a spontán kristályosodás megbízhatatlan stabilitást ad a bornak. Ezért a palackozás előtt mindenképpen szükséges valamilyen mesterséges hidegstabilizálási folyamat. Ez a fajta kezelés különösen indokolt, mivel a fogyasztók nagy többsége nem tolerálja a kristályok jelenlétét a palackok alján, még akkor sem, ha azok nem befolyásolják a minőséget. A palackozás utáni kiválás azonban a minőség változására is hatással van általában, hiszen a borok savprofilja is változik a kiválás következtében. (Prof. Kállay, 2010)

### **3.4.1. Kolloid és kiválás**

A borok kálium-hidrogén-tartarát és kalcium-tartarát kiválását képesek megakadályozni olyan makromolekulák, amelyek gátolják a kristályképződésért felelős magok növekedését. Ezek a makromolekulák, az úgynevezett "védőkolloidok" közé tartoznak. Ezek lehetnek fehérjék és tanninok, valamint glükóz polimerek, például pektinek és gumik, azaz semleges poliszacharidok. A borok összes kolloid tartalma általában 500-1000 mg/l mennyiséget tesz ki. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a mustokban ennél magasabb mennyiségű kolloid található, azonban az erjedés alatt ennek jelentős része kicsapódik. Az összes kémiai makromolekulák mellett léteznek összetettebb polimerek is, mint például a glikoproteinek, pl. az élesztő mannoproteinjei.

„A szőlőbogyóból extrahálható oldható kolloidoknak a bogyóhús mintegy 40 %-át, a héjak 30-35 %-át tartalmazzák, míg a magvak valamivel kevesebbet, 25-30 %-át. A bogyóhús kolloidjai 70 %-ban gumi-, mézgaanyagokból és pektinből állnak. A héjak kolloidjai mintegy 75%-ban állnak ezekből az anyagokból. A pektinek több mint 50%-át teszik ki a bogyóhús és a héjak összes kolloidjainak. A bogyóhús kolloidjainak 8-15%-a, a héjaknak 3-15%-a, a magvakénak 23-65%-a a fehérje.” (Prof. Kállay, 2010)

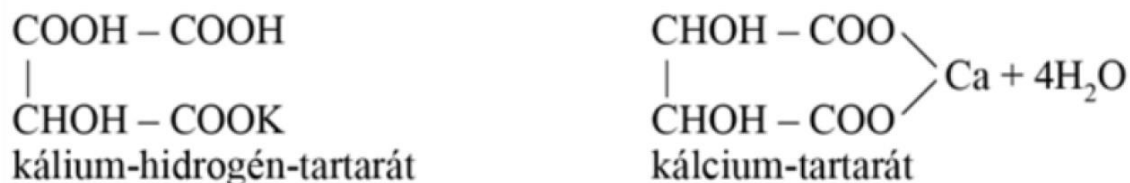
Az összes kolloid 90%-át a gumi- és mézgaanyagok, valamint a pektin képviseli fehér- és vörösboroknál. Jelentős különbség van a borok kolloid mennyiségében, ez az eltérés a különböző feldolgozási technológiától függ leginkább. Elmondható, hogy fehérboroknál a szőlőből kinyerhető összes kolloid körülbelül 15%-át sikerül kinyernünk, azonban vörösboroknál sok esetben akár 30%-át is. Ez az arány az eltérő feldolgozási technológiának köszönhető, hiszen a vörösbor készítmény technológiánál a héjon erjesztés alatt sok időt hagyunk a kolloid extrakcióra is. A borok kolloid összetevőinek aránya eltér a bogyóhús, a bogyóhéj és a magvakból kinyerhető kolloidok arányától. A szilárd részekből történő kioldódás és a százalékos csökkenés miatt a borok kolloidjának gumi- és mézgaanyag tartalma 20-45 %. Ezen kívül nem feledkezhetünk meg az élesztők által a bornak átadott kolloidról sem, melynek nagy része szintén gumi- és mézgaanyag. Ezen felül 7-12 százaléka fehérje a borokból kicsapható kolloidnak.

A védőkolloid hatásának erőssége aszerint változik, hogy a bor elkészítése során, milyen borkészítési technológiát alkalmaztunk. Emellett nagyban befolyásolja a termőhely, szőlőfajta és évjárat hatása is. A vörösboroknak

magasabb a fenoltartalmuk, mint a fehérboroknak, és a tanninjaiknak erős gátló hatásuk van. Természetes állapotában a bor mindig túltelített és ezért instabil.

### 3.5. Borkósavas kiválások

Borkőnek nevezzük azt az üledéket, amely a borkósavnak két sójából kiválás útján kialakul az alacsony oldhatóság miatt. A két kivált só neve a savanyú borkósavas kálium (vagy kálium-hidrogén-tartarát, vagy borkő), és a semleges kalcium-tartarát (**2. ábra**).



**2. ábra:** A kálium-hidrogén-tartarát és a kalcium-tartarát szerkezeti képlete

A hőmérséklet csökkenésével és a növekvő alkoholtartalommal a két só oldhatósága csökken. A kicsapódás mértéke függ a borok alkoholtartalmától, a hőmérsékletétől, a pH-értékétől és a kiinduló sókoncentrációtól. A szüretet követően a borok érlelése alatt e sók kristályos kiválásai általában a tárolás folyamán a hőmérséklet csökkenésével összefüggésben az első télen jelentkeznek. Magasabb borkósavtartalommal rendelkező borok esetén ez a kiválás lehet kedvező hatású is a kedvezőbb savérzet kialakulása szempontjából. Északibb fekvésű szőlőtermesztő területeken, ahol a magas savtartalom még jelenleg is borászati problémákat okoz a diszharmonikus savszerkezet kialakulása miatt, ott ez a folyamat jelenleg is hasznosnak tekinthető. Ha a kiválás a palackozást követően jelentkezik a borban, az viszont már nem nevezhető kedvező folyamatnak. A palack alján jelentkező kiválások a fogyasztóban bizalmatlanságot kelthetnek. Nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy ebben az esetben a borok összes savtartalma is csökken, a savak aránya megváltozik, és előfordulhat bizonyos esetekben, hogy ezen tényezők negatív irányban járulnak hozzá a bor harmonikus ízének megváltozásához.

A borkósavas sók kristályosodási folyamata nagyon lassú. A sók kicsapódása során először a kálium-bitartarát válik ki. A folyamat gyorsaságát fékezi a borokban lévő szuszpenziós és kolloid anyagok összessége. A téli hónapokban a pince lehűlésével a kálium-bitartarát válik ki nagyobb mennyiségben, mert az oldhatósága alacsonyabb hőmérsékleten erősen csökken. Sok esetben ez a kiválás megfelelő stabilitást ad a bornak. Azonban, ha a bor hőmérséklete még alacsonyabb szintre hűl vissza, akkor ismét bekövetkezhet sókiválás. Ezzel szemben a kalcium-tartarát kristályai lassabban képződnek, kevésbé mutat összefüggést a hőmérséklet csökkenésével, sok esetben 20-25 Celsius fokon is megtörténik. (Prof. Kállay, 2010)

A borkósav disszociációs állandóiból következik, hogy kémiaiilag ez a bor legerősebb szerves sava (**1. táblázat**). Két lépcsőben disszociál, mivel kétfázisú sav. Disszociációs állandó:

pK1=3,01

pK2=4,37

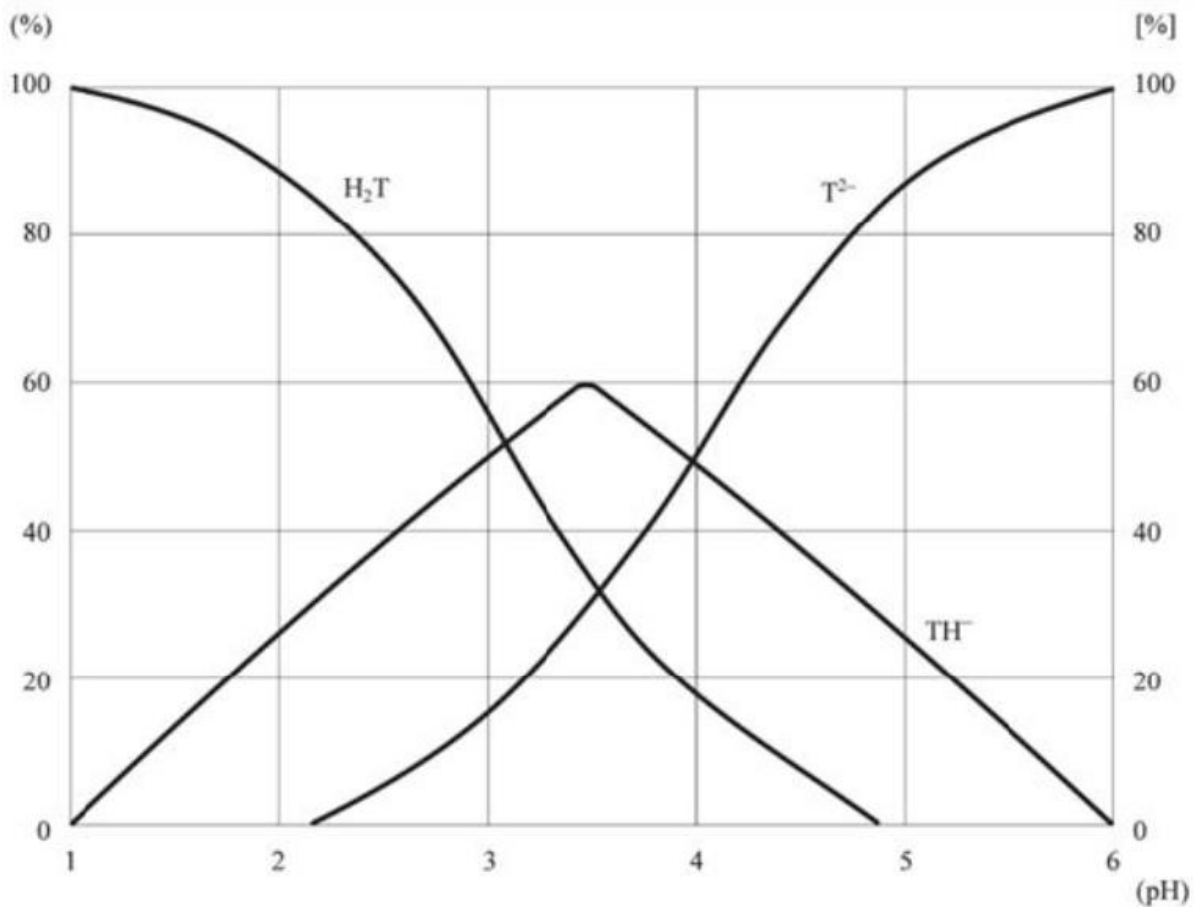
Gyenge savak sói oldataira érvényes a  $pH = pK - \lg \frac{[sav]}{[só]}$  összefüggés.

**3. ábra:** A pH és a pK érték összefüggése (Prof. Kállay, 2010)

**1. táblázat:** Különböző savak pK- értékei és állapotuk a borban (Prof. Kállay, 2010)

| Sav            | Disszociáció foka | pK   | Állapot a borban                             |
|----------------|-------------------|------|--|
| Sósav          | -                 | <1   |  |
| Kénsav         | 1a                | 1    |  |
| Kénsav         | 2a                | 1,62 | só formában kötött                           |
| Kénessav       | 1a                | 1,77 |  |
| Foszforsav     | 1a                | 1,96 |  |
| Borkősav       | 1a                | 3,01 |  |
| Citromsav      | 1a                | 3,08 | részben só, részben szabad állapotban        |
| Almasav        | 1a                | 3,46 |  |
| Tejsav         | -                 | 3,81 |  |
| Borkősav       | 2a                | 4,05 |  |
| Borostyánkősav | 1a                | 4,18 |  |
| Citromsav      | 2a                | 4,75 | nagy részt szabadon, csekély mértékű sóforma |
| Ecetsav        | -                 | 4,76 |  |
| Almasav        | 2a                | 5,05 |  |
| Borostyánkősav | 2a                | 5,23 |  |
| Citromsav      | 3a                | 6,41 |  |
| Szénsav        | 1a                | 6,52 |  |
| Foszforsav     | 2a                | 6,7  |  |
| Kénessav       | 2a                | 7,08 | szabad savas funkcionális csoportok          |
| Kénhidrogén    | -                 | 7,24 |  |
| Szénsav        | 2a                | 10,2 |  |
| Foszforsav     | 3a                | 12,4 |  |
| Polifenolok    | -                 | 7,1  | szabad állapot                               |

Az **3. ábrán látható** egyenletből következik, hogy egy borban, melynek pH-ja 3, az első disszociációs állandó alapján a borkősav körülbelül 50 százalékban só formájában van jelen, viszont nem képez sót a második disszociációs lépcsőben. Fordított arányban áll egymással a savak disszociációs egyensúlya. Az alkoholkoncentráció és az ionerősség kis mértékben, a pH-érték azonban nagy mértékben befolyásolja a borkősav disszociációjakor keletkező ionok százalékos arányát.



**4. ábra:** A borkősav disszociációs viszonyai a borban (H<sub>2</sub>T: borkősav; HT<sup>-</sup>: bitartarát-anion; T<sup>2-</sup>: tartarát-anion) (Prof. Kállay, 2010)

3,75 pH-értéken a legnagyobb a hidrogén-tartarát-anionok százalékos aránya (**4.ábra**), ebből következik, hogy minden olyan tényező, amely a pH-értéket indirekt módon közelíti ehhez az értékhez, a hidrogén-tartarát-anionok koncentrációjának növekedését is emeli. Tehát közvetlen összefüggéssel van a sóképzésre. Ilyen tevékenység például a biológiai almasavbontás, mert az almasavnál gyengébb monokarbonsavat képez, és az erősebb borkősav maga disszociál oldhatatlan só képezve, és visszaszorítja a tejsav disszociációját. Több kísérlet is bizonyítja, ha borokhoz almasavat és tejsavat adagolunk, akkor a jelenlévő kálium-ionok egy része nagyrészt disszociáló és oldódó sókat képez az említett savakkal, ezáltal az oldatban csökkentve a disszociálatlan kálium-hidrogén-tartarát koncentrációját. A kísérlet szerint, ha ugyanehhez a kiindulási borhoz borkősavat adagolunk, az a pH-érték csökkenését eredményezi, ezért a kálium-hidrogén-tartarát disszociációját is csökkenti, ebből kifolyólag a borkő alacsony oldhatósága miatt kicsapódik. A pK-értékek enyhe növekedését tudja eredményezni a karboxilcsoportok disszociációját gátló alkohol jelenléte, amely „a borkősav esetében az első disszociációs lépcsőt figyelembe véve 0-18v/v% alkoholkoncentráció mellett a pK 3,01-ről 3,29-re emelkedik” (**2. táblázat**). (Prof. Kállay, 2010)

**2. táblázat:** Borkősav pK értékének változás eltérő alkoholtartalom mellett. (Prof. Kállay, 2010)

| Alkohol (v/v %) | 0°   | 6°   | 8°   | 10°  | 12°  | 14°  | 16°  | 18°  |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pK1             | 3,01 | 3,07 | 3,1  | 3,12 | 3,16 | 3,19 | 3,24 | 3,29 |
| pK2             | 4,05 | 4,11 | 4,14 | 4,16 | 4,2  | 4,24 | 4,29 | 4,33 |

A tömeghatás törvénye érvényes az egyensúlyi állapotban vizes-alkoholos oldatban lévő kálium-hidrogéntartarát (5. ábra).

$$k = \frac{[K^+][HT^-]}{[KHT]}$$

ahol:

k = egyensúlyi állandó,

K<sup>+</sup> = káliumionok koncentrációja,

HT<sup>-</sup> = hidrogéntartarát-ionok koncentrációja,

KHT = a nem disszociált borkő koncentrációja.

**5. ábra:** Egyensúlyi állandó kiszámításának módszere

„Az egyenletet átrendezve és megfontolva, hogy a szilárd só koncentrációja állandó, a k konstanssal összeszorozva egy újabb k konstans adódik, amely az egyensúlyban oldott állapotban lévő ionok szorzata, azaz az oldhatósági szorzat (PS) (6. ábra).” (Prof. Kállay, 2010)

$$k' = k [KHT] = [K^+][HT^-] = PS$$

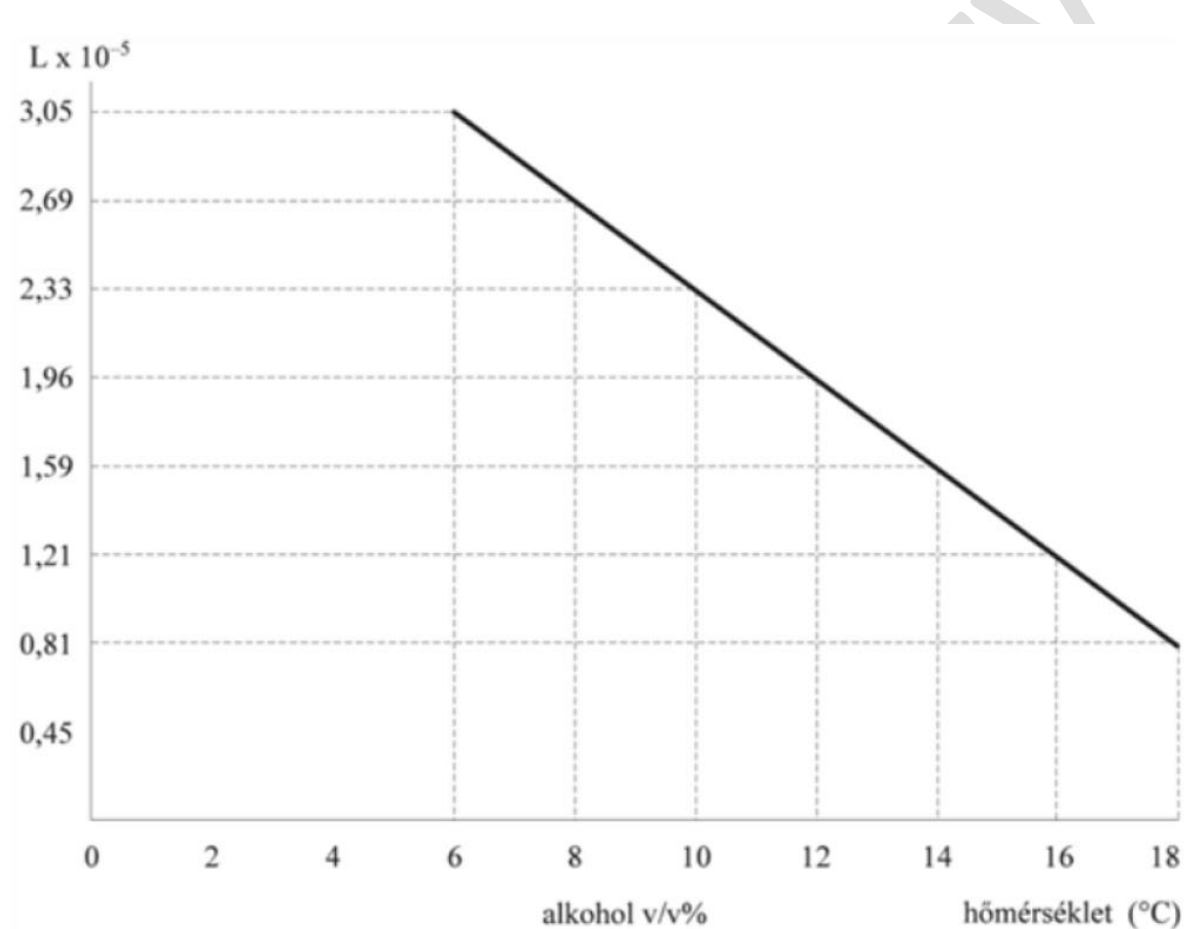
**6. ábra:** Az oldhatósági szorzat (PS) kiszámításának módszere (Prof. Kállay, 2010)

A kálium-hidrogén-tartarát oldhatósági szorzata bor esetében a hőmérséklettől és az alkoholfoktól függ. Definiáljuk az úgynevezett koncentráció szorzatot (PC), amely a borban mérhető ionok szorzatát jelenti ( $PC=[K^+][HT^-]$ ). Pontos információt kapunk összehasonlítva a kísérleti úton kapott PC értéket az elméleti oldhatósági szorzattal azonos hőmérsékleten a bor borkötélitetségéről. A bor borköre nézve telített, ha  $PC=PS$ . Azonban, ha  $PC>PS$ , túltelítettséget jelez, és addig várható borkőkiválás, míg  $PC=PS$ . A hőmérsékleten és az alkoholfokon kívül az ionerősség is befolyásolja a borkőkiválást. A pH-értéktől, a kálium és a borkősav koncentrációjától függ a közegben lévő disszociált ionok koncentrációja egyensúlyi állapotban. „Kísérletileg bizonyított, hogy a hőmérséklet változása



és a borkő oldhatósága arányos: 0°C-on 3,2g, 20 °C-on 5,7g, míg 100°C-on 69g oldódik literenként.” (Prof. Kállay, 2010)

Fontos definiálnunk azt a hőmérsékletet, amelyen telített az oldat, azaz PC=PS, ezt a hőmérsékletet nevezzük telítési hőmérsékletnek ( $T_s$ ). Ha a telítési hőmérséklet ( $T_s$ ) azonos a bor mért hőmérsékletével ( $t$ ) akkor nem várható kiválás, azonban, ha a bor telítési hőmérséklete nagyobb, mint a bor hőmérséklete  $t < T_s$  akkor túltelített borról beszélünk és várható borkő kiválás. (Prof. Kállay, 2010) Az erjedés alatt bekövetkező alkoholtartalom-emelkedés indirekt módon idéz elő kálium-hidrogén-tartarát kiválást, mert az erjedés alatt képződő alkohol rontja a KHT oldhatóságát (**7. ábra**). Ez a jelenség magyarázza, hogy az erjedés alatt miért látunk mindig kiválásra utaló sókat a tárolóedények falán.



**7. ábra:** A borkő (KHT) oldhatósága vizes-alkoholos közegben -4°C-on (Prof. Kállay, 2010)

A **8. ábrán** található egyenlet írja le az alkoholkoncentrációtól való függését a PS-értéknek:

$$PS = k + k' (v/v\%) + k'' (v/v\%)^2,$$

ahol:  $k$ ,  $k'$  és  $k''$  = táblázatból vehető, alkoholfoktól függő konstansok.

**8. ábra:** PS értékek kiszámításának módszere változása alkoholtartalom mellett

Az ionerősség is befolyásolja egy só kicsapódásának egyensúlyi viszonyait. Ez az összefüggés az **9. ábrán** szemléltetett egyenlettel írható le, amely az oldatban jelen lévő összes ion függvényeként szerepel.

$$I = 1/2 \sum C_i n_i^2,$$

ahol:

$C_i$  = az i-edik ion koncentrációja (mól/l),

$n_i$  = az i-edik ion értéke.

Az ionerősség növekedése az oldhatóság növekedését jelenti.

**9. ábra:** A ionerősség és a só kicsapódásának egyensúlyi viszonyait leíró egyenlet

Az ionerősség számítása az alábbi az alábbi közelítő becsléssel definiálható (**10. ábra**):

$$I_i = 0,025 + [K^+],$$

ahol:

$I_i$  = ionerősség borköteltített állapotban,

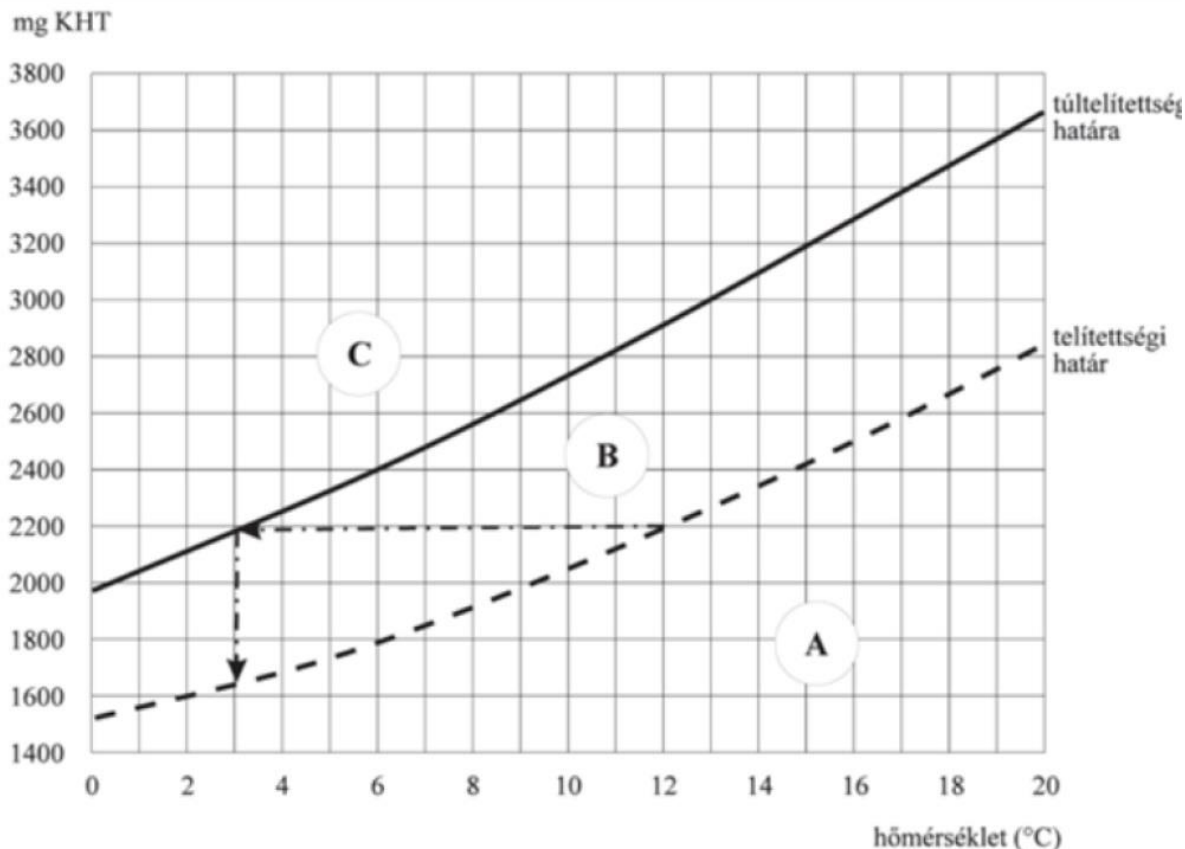
0,025 = empirikus konstans,

$K^+$  = káliumionok (mól/l).

**10. ábra:** Az ionerősség számításának egyenlete (Prof. Kállay, 2010)

Jó közelítéssel mutatja az alábbi egyenlet a bor telítettségi állapotát borköre. Ha egy bor stabilitását kezdjük vizsgálni, akkor mindig abból kell kiindulnunk, hogy természetes körülmények között a bor mindig túltelített állapotban van borköre. Ez a jelenség a termodinamikai törvényből következik.

Az **11. ábra** alapján három különböző zónát tudunk megkülönböztetni. Ezek az adatok a hőmérséklet és a kálium-hidrogén-tartarát koncentráció összefüggései alapján alakultak így.



11. ábra: A borkő (KHT) különböző állapotai hűtéssel stabilizált borban (Prof. Kállay, 2010)

A középső zónán belül számos bizonytalansági faktor szerepet játszik. Ezen faktorok többsége a kolloidtól függ, amelyek többsége képes megakadályozni a borkő kiválását.

A vörösborok fenoltartalma magasabb, mint a fehérboroké, és kondenzált tanninjaik erős védőkolloid hatással bírnak. A természetes állapotban mindig túltelített kálium-hidrogén-tartarát és kalcium-tartarát szempontjából ez az állapot az érlelés során bekövetkező kolloidok átrendeződésétől függően lehet többé-kevésbé tartós. Mint már említettük, a tárolási hőmérséklet döntő lehet a bitartarát-kristályosodás kiváltásában. Bizonyára igaz, hogy a spontán kristályosodás természetes körülmények között megbízhatatlan, kiszámíthatatlan jelenség. Ezért napjainkban nagyüzemi szinten a vörös- és a fehérbor előállításai folyamatok magukba foglalják a palackozás előtti mesterséges hidegstabilizálást. A kezelés a XXI. században különösen indokolt, mert a fogyasztók nem tolerálják a kristályok jelenlétét a palack alján, még akkor sem, ha az a minőséget akár csak kis mértékben is befolyásolja. A mesterséges hidegstabilizálás továbbá elengedhetetlen a pezsgők esetében. Az üveg felületén megtapadt kálium-bitartarát mikrokristályai a palack kinyitásakor túl sok buborék kialakulásához vezetnek, ami túlzott pezsgést képes kiváltani. Ezért a palack kinyitását követően a folyamatos habzás miatt nagy mennyiségű bor elvesztése történik. A palackok degorzálása közben ez kifejezetten hátrányos folyamat.

### **3.6. A hidegstabilitás lehetséges előrejelzése**

#### **3.6.1. Hűtőszekrényes vizsgálat**

Ez a hagyományos vizsgálat némileg empirikus. A hidegstabilizálási folyamat előtt és/vagy után a bormintát 4-6 napig 0°C-on hűtőszekrényben tároljuk, majd megvizsgáljuk, nem kristályosodott-e ki. Pezsgőkészítés esetén a második fermentációra szánt borok esetében alkoholt is lehet hozzáadni, hogy az erjesztés utáni 1,3-1,5 százalékkal megnövelt alkoholtartalmat tudjuk prezentálni. Ez szimulálja a második erjedés hatását, és lehetővé teszi a pezsgő bitartarát stabilitásának értékelését. E vizsgálat előnye, hogy egyszerű és praktikus, nem igényel különleges felszerelést. Másrészt viszont nem ad pontos jelzést a bor instabilitásának mértékéről. Legnagyobb hátránya, hogy hosszú időt vesz igénybe, és nem kompatibilis a rövid stabilizációs technológiákkal, ahol a gyors eredmények elengedhetetlenek a kezelés hatékonyságának valós idejű értékeléséhez. Végül ez a vizsgálat nem megbízható, és nem is könnyen megismételhető, mivel a spontán nem indukált kristályosodás jelenségén alapul, ami egy lassú, nem megbízható folyamat.

#### **3.6.2. Mini-kontakt teszt (Elektromos vezetőképesség alapján)**

Wurdig és munkatársai voltak az elsők, akik a borkőkiválás nyomonkövetésére a bort elektrolitoldatnak tekintették (Wurdig, Muller, & Friedrich, 1982). Ennek oka, hogy a kicsapódás következtében a kálium-bitartarát az oldott ionizált állapotból kristályos állapotba kerül. Innentől, mint elektromos vezető, már nem vesz részt a folyamatban (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006).

Egy előre meghatározott mennyiségű bormintához mesterségesen 4g/liter bitartarátot adagolunk, ezt követően két órán keresztül 0°C-on tartjuk, és folyamatosan keverjük. A bormintát ezt követően leszűrjük, és az összegyűjtött tartarátot (exogén tartarát + borból kivált tartarát) lemérjük, és a súlynövekedést értékeljük. A csapadékot ismert mennyiségű forró vízben is fel lehet oldani, és meg lehet mérni a savtartalom növekedését a borhoz adott 4g/liter exogén kálium-bitartaráthoz képest. A mini-kontakt teszt a homogén indukált kristálykiváláson alapul, amely gyorsabb, mint az elsődleges kicsapódás. Ebben a vizsgálatban a kiváltó tényező a folyadék/szilárd érintkezési felület. Ez a vizsgálat meghatározza a bor stabilitását 0°C-on, és a vizsgálat időpontjában fennálló védőkolloid hatását is figyelembe veszi. Annak érdekében, hogy a mini-kontakt tesztet gyorsabbá, megbízhatóbbá és dinamikusabbá tegyék, a Martin Vialette cég 1984-ben a következő változatot javasolta: a bormintába 10g/liter kálium-bitartarátot tettek, és 0°C-on mérték a vezetőképesség csökkenését. A borban uralkodó extrém túltelítettségi körülmények között a stabilitást szabályozó törvények a következők (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006):

1. ha az adagolást követően 5-10 percen belül a vezetőképesség csökkenése nem haladja meg a bor kezdeti vezetőképességének 5 százalékát, a bor megfelelően kezeltnek és stabilizáltnak tekinthető
2. ha a vezetőképesség csökkenése meghaladja az 5 százalékot, a bor instablnak tekinthető

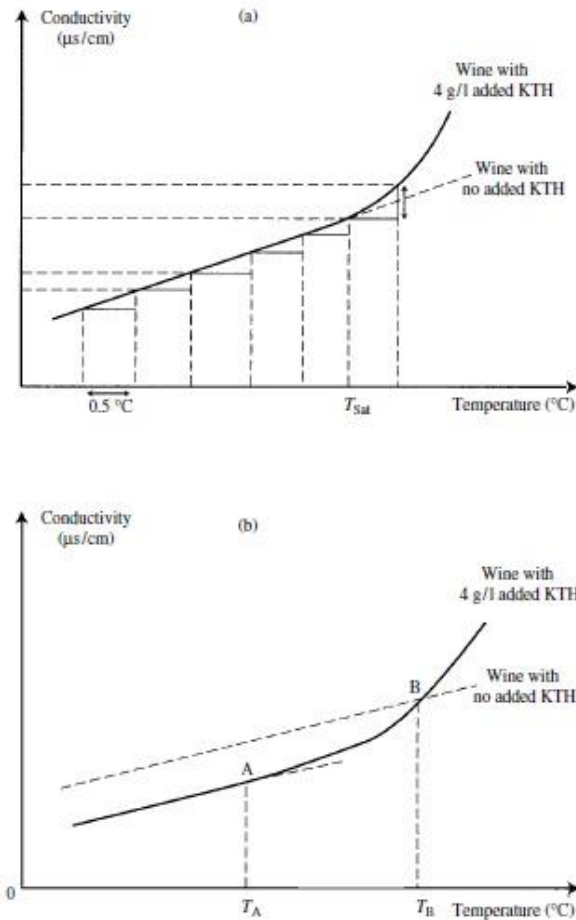
Mivel ez a vizsgálat a bor elektromos vezetőképességének mérésén alapul, óriási előnye, hogy nincs szükség a csapadék szűréssel történő összegyűjtésére és a súlynövekedés meghatározására. Ez az új vezetőképességet mérő mini-kontakt teszt sokkal gyorsabb, két óra helyett csak 5-10 perc a szükséges idő hossza. Továbbá az első

változathoz képest, mivel az érintkezési felület és következésképpen a bor túltelítettségi állapota két és félszeresére nő (4g helyett 10g kálium-hidrogén-tartarát), pontosabb értékelést ad a bor stabilitásáról.

Az előző teszthez hasonlóan a vizsgálat továbbra is kritizálható, és megbízhatósága korlátozott. A vezetőképesség túlságosan kis ingadozásain, valamint a túl rövid kontaktidőn alapul.

### **3.6.3. „A Wurdig-teszt”, a telítettség fogalma és a bor hőmérséklete**

Wurdig és munkatársai (1982) abból a gondolatból indultak ki, hogy alacsony hőmérsékleten minél több kálium-hidrogén-tartarátot képes egy bor oldani, annál kevésbé volt a kiinduló bor túltelített, ezért annál stabilabbnak kell lennie a bitartarát-kicsapódás szempontjából (Wurdig, Muller, & Friedrich, 1982). A szerzők e megközelítés alapján definiálták a bor telítési hőmérsékletének (TSat) fogalmát. A bor telítési hőmérséklete az a legalacsonyabb hőmérséklet, amelyen a bor képes kálium-bitartarátot oldani. Ebben a vizsgálatban a hőmérsékletet egy bor bitartarát-stabilitásának becslésére használják a só oldódása alapján. A korábban leírt kristályosodáson alapuló vizsgálatokkal összehasonlítva ez a vizsgálat relevánsabb eredményeket mutat. A só oldódása ugyanis spontán, gyors, megismételhető jelenség, amely sokkal kevésbé függ a hozzáadott borkő-kristályok szemcseméretétől. A kálium-hidrogén-tartarát oldódását a borban a vizsgálat időpontjában fennálló kolloid állapota is kevésbé befolyásolja. Megfigyelték, hogy a védőkolloidok kristályosodás-gátlóként hatnak, de nem befolyásolják a sók oldódását. A bor telítési hőmérsékletét az elektromos vezetőképesség mérésével határozták meg egy kétlépcsős kísérletben. Az első kísérletben a bort egy hő- és hidegforrásokkal felszerelt fürdőben 0°C-os hőmérsékletre hűtötték. Ezután a hőmérsékletet 0,5 °C-os lépésekben 20 °C-ra emelték, és minden egyes hőmérséklet-változás után megmérték a bor vezetőképességét. Ily módon megfigyelték, hogy a kiindulási bor vezetőképességének hőmérséklet szerinti változását grafikonon ábrázolva egy nagyjából egyenes vonal képviselte. A második kísérletben ugyanebből a borból egy térfogatot (100ml) 0°C-os hőmérsékletre hűtötték, majd 4g/liter kálium-hidrogén-tartarát port adtak hozzá. A hőmérsékletet ismét 0,5°C-os lépésekben 20°C-ra emelték. A bort folyamatosan keverték, majd minden egyes hőmérséklet-változás után megmérték a vezetőképességét.



12. ábra: A vizsgálat során megfigyelt mintázatok (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006)

Két mintázatot figyeltek meg (12. ábra):

1. A 4g/liter KHT hozzáadását követően a bor vezetőképessége alacsony hőmérsékleten lineáris változást mutatott. Ez az egyenes szinte egymásra helyezhető a kristályok hozzáadása nélküli boréval, egészen a  $T_{\text{Sat}}$  hőmérsékletig, ahol a vezetőképesség elhagyta az egyenest, és az exponenciális oldhatósági görbét követte.
2. A 4g/liter KHT hozzáadását követően a bor vezetőképessége a kristály hozzáadása nélküli borminta egyenese alatt volt. Ez azt jelentette, hogy alacsony hőmérsékleten indukált kristályosodás következett be, ami a borban magas endogén KHT túltelítettségi állapotot mutat. A vezetőképesség ezután lineárisan növekedett a  $T_A$  hőmérsékletig. Ekkor a KHT elkezdett oldódni a borban, és a vezetőképesség az exponenciális oldhatósági görbét követte. A  $T_B$  pontban a hőmérséklet az exponenciális oldhatósági görbe keresztezte az egyenest, amely az eredeti bor vezetőképességét mutatja. Ez a metszéspont megfelel a bor valódi telítettségi hőmérsékletének.

Gyors stabilizáló technológiákat alkalmazó borászatokban a telítési hőmérséklet hőmérsékleti gradiens módszerrel történő kísérleti meghatározása nem összeegyeztethető a folyamatban lévő kezelés hatékonyságának ellenőrzéséhez szükséges gyors reagálással. Wurdig és munkatársai (1982) több száz bor statisztikai vizsgálata

alapján egy lineáris korrelációt állapítottak meg, melyet a következőben határoztak meg (**13. ábra**) (Wurdig, Muller, & Friedrich, 1982):

$$T_{\text{Sat}} = 20 - \frac{(\Delta L)_{20^{\circ}\text{C}}}{29.3}$$

**13. ábra:** TSat értékének meghatározása 20°C-on

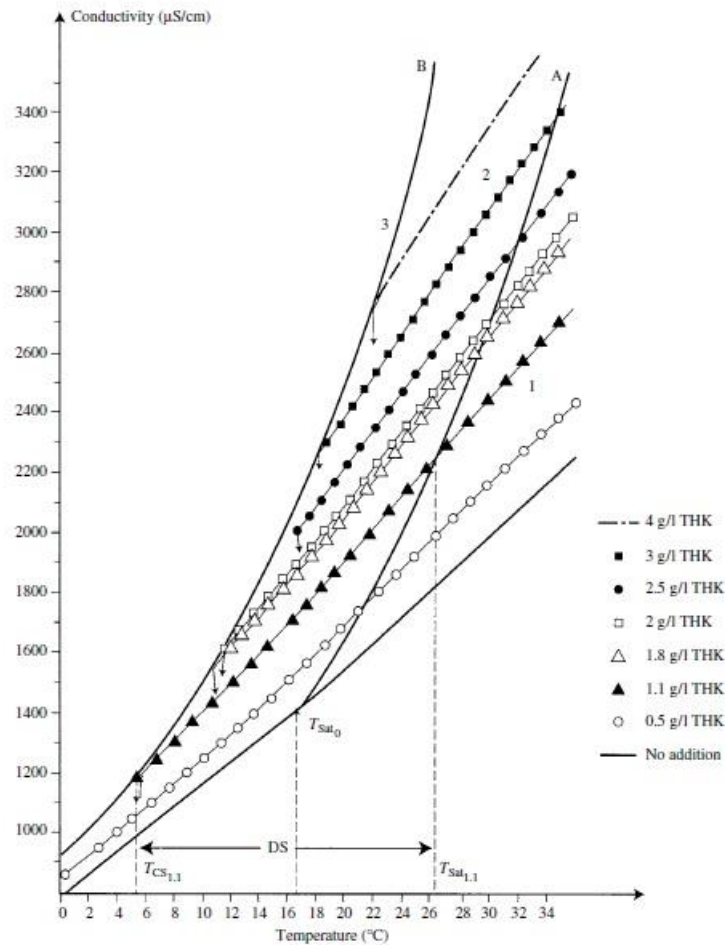
Ezt az egyenes vonalú korrelációt a bor vezetőképességének 20°C-on 4g/liter KHT ( $\Delta L$ ) hozzáadása előtti és utáni változása és a telítési hőmérséklet között csak olyan borok esetében igazolták, ahol a kálium-hidrogén-tartarát beoldódási hőmérséklete 7°C és 20°C között van. Az egyenlet gyakorlati használatának előnye, hogy a bor telítési hőmérséklete néhány perc alatt mindössze két méréssel meghatározható. Egyes borok esetében a kristályosodás 20°C-on KHT por hozzáadásával idézhető elő. Ez azt jelenti, hogy a KHT hozzáadása után alacsonyabb a vezetőképességük, azaz a telítési hőmérsékletük 20°C felett van. Ebben az esetben a pontos telítési hőmérséklet meghatározásához 30°C-ra kell melegíteni, kálium-hidrogén-tartarát port adunk hozzá, és mérjük a vezetőképesség növekedését ezen a hőmérsékleten. A telítési hőmérsékletre az alábbi képlet alapján következtethetünk (**14. ábra**) (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006).

$$T_{\text{Sat}} = 29.91 - \frac{(\Delta L)_{30^{\circ}\text{C}}}{58.30}$$

**14. ábra:** TSat értékének meghatározása 30°C-on

#### 3.6.4. Hőmérséklet és stabilizáció

Az a hőmérséklet, amelyen a bor képes lesz bitartarát beoldásra, hasznos mutatója a szupertelítettség állapotnak. A gyakorlatban azonban a borászok inkább azt a hőmérsékletet szeretnék tudni, amely alatt fennáll a tartarát-instabilitás veszélye. Maujean és munkatársai (1986) megpróbálták meghatározni a telítési hőmérséklet és a stabilitási hőmérséklet közötti kapcsolatot (Maujean, Vallee, & Sausy, 1986). Ehhez a telítettség és a túltelítettség görbék egyenleteit megpróbálták az elektromos vezetőképesség mérésével felállítani. A kísérlet során a túltelítettség görbe meghatározását az alábbiak alapján végezték: a 35°C-ra felmelegített bormintához KHT port adagoltak, majd a hőmérséklet csökkenésével a vezetőképességet rögzítették. Ezáltal egy olyan egyenest kaptak, amelyek metszéspontjai az exponenciális oldhatósági görbével egy olyan bor telítési hőmérsékletének feleltek meg, amelyben  $i$  mennyiségű KHT-t oldottak fel. Ezen egyenes szakaszok bal oldali végei a spontán kristályosodási hőmérsékletnek (TCS 0) feleltek meg. Ha például 3g/liter KHT-t oldottak fel a borban, akkor a vezetőképesség lineáris csökkenését jelző egyenes 18°C-on áll meg. Ha a bor valódi telítési hőmérsékletéből TSat 0, azaz hozzáadott KHT nélkül kivonjuk a 21°C-t, akkor arra következtethetünk, hogy ebben a borban a spontán kristályosodás valószínűleg TCS0=TSat0-21=-5 hőmérsékleten következik be.



15. ábra: A túltelítettségi mező szélességének ábrázolása grafikonon (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006)

Az imént levezetett és a 15. ábrán szemléltetett szupertelítettségi mező szélességének meghatározására szolgáló kísérleti módszer, amely segít levezetni a telítési hőmérséklet és azon hőmérséklet közötti kapcsolatot, amely alatt fennáll a kristályosodás veszélye. A túltelítettségi mező szélessége, amely a kristályosodás késleltetésével korrelál, legalábbis részben a túlhűtés jelenségével, valamint a borban lévő kristályképződést gátló makromolekulák jelenlétével függ össze. Elméleti szempontból érdekesnek tűnik meghatározni, hogy ezek a védőkolloidok milyen mértékben járulnak hozzá a túltelítettségi mező szélességéhez.

A gyakorlatban a telítési hőmérsékletet egyszerűen két elektromos vezetőképesség-méréssel kapták meg, fehérborok esetében 20°C-on, vörösborok esetében 30°C-on. Az elsőt a boron önmagában, a másikat 4 g/l KHT-kristályok hozzáadása után mérték. A 13. ábrán szereplő egyenletet használjuk a  $T_{Sat}$  kiszámításához a fehérborok, a 14. ábrán szereplőt pedig vörösborok esetén.

A  $T_{Sat}$  telítési hőmérséklet és a valódi stabilitási hőmérséklet közötti kapcsolatot a különböző bortípusokban még meg kell állapítani. Annak érdekében, hogy egy olyan szabályt határozzanak meg, amely az idő múlásával



megbízható, azaz független a fehérborban az érlelés során bekövetkező kolloidális átrendeződésektől, Maujean és munkatársai (1986) a következő egyenletet javasolták (Maujean, Vallee, & Sausy, 1986):

$$\text{TCS} = \text{TSat} - 15^\circ\text{C}$$

Megjegyzendő, hogy ez az egyenlet teljesen figyelmen kívül hagyja a védőkolloidokat, és 11% v/v alkoholtartalmú borra érvényes. A 12,5% v/v alkoholtartalmú fehérborok, vagy azok esetében, amelyeket második erjesztésre szánunk, amely az alkoholtartalmat 1,5% v/v-vel növeli, az egyenlet a következő: Ha tehát  $-4^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten stabilitásra van szükség, a telítési hőmérséklet nem haladhatja meg a  $8^\circ\text{C}$ -ot. A pezsgőben általában megkövetelt stabilitás megfelel a lassú mesterséges hidegstabilizálás során használt  $-4^\circ\text{C}$  hőmérsékletnek. Az egyszerűsítés érdekében Gaillard és munkatársai a borok borkőstabilitását egyértelműen a telítési hőmérsékletéhez kapcsolják (Gaillard, Ratsimba, & Favarel, 1990). Becslésük szerint a stabilitás akkor érhető el, ha:

1. Fehérborokban a  $\text{TSat} < 12,5^\circ\text{C}$ .
2. Vörösborokban  $\text{TSat} < (10,81 + 0,297 \text{ IPT})^\circ\text{C}$ ,

ahol az IPT az összes polifenolszámot jelenti.

Ezek a módszerek, amelyek a KHT oldódásán alapulnak, függetlenül a közeg összetételétől, alkalmazhatóak a hidegstabilizációs kezelések nyomon követésére.

### 3.6.5. Szoftver

Ez egy teljesen más megközelítés a borkészítésben még mindig az egyik fő problémát jelentő tartarát-instabilitás előrejelzésére. Az oldatban történő kristályosodásra használt módszerek átültetésével Devatine és munkatársai (2002) kifejlesztették a *Mextar* programot, amely a bor savtartalmának összetevőire vonatkozó elemzési adatokra vonatkozó számítások segítségével megbízható mérőszámot kínál a bor stabilitásának vagy instabilitásának mérésére (Devatine, Gerbaud, Gabas, & Blouin, 2002). Így elméletileg lehetőség nyílik arra, hogy pontos értékelést kapjunk arról, hogy egy bort stabilizációs kezelésnek kell-e alávetni. A számítás a kémiai összetételben a spontán vagy indukált átalakulások során bekövetkező változásokat is előre jelzi. Végül a *Mextar* a bor savtartalmában bekövetkező változások modellezésére használható, a sav emelési és savtompítási műveletek, valamint a malolaktikus erjedés szimulálásával, és az e folyamatokat követő pH- és összes savtartalom-értékek előrejelzésével.

### 3.7. Hidegstabilizálás lehetséges módszerei

Az alábbi részben szeretném a főbb bitartarát stabilizálásra alkalmas lehetőségeket bemutatni. Bármelyik technológiát is alkalmazzák, és függetlenül a bitartarát-stabilizációt előkészítő kezeléstől, a mesterséges hideggel kezelt bornak tisztának kell lennie, azaz nem szabad túlzottan élesztővel vagy baktériumokkal szennyezettnek lennie.

### **3.7.1. Lassú hidegkezelés kontaktáló anyag nélkül**

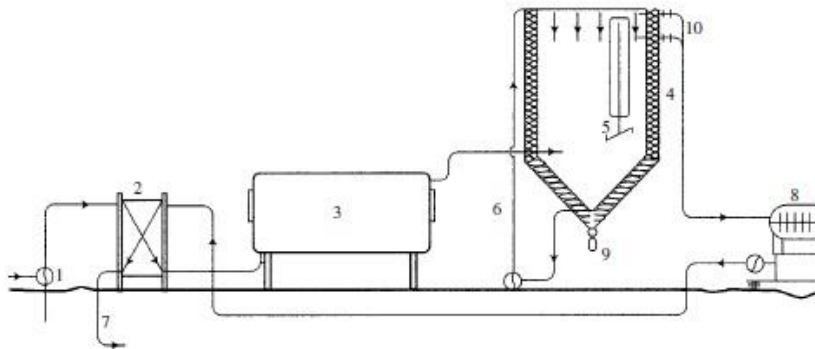
Ez a hagyományos technológia a bor bitartarát stabilizálására. Mielőtt a borászatokat felszerelték volna hűtő- és légkondicionáló rendszerekkel, a borokat egyszerűen természetes hidegnek tették ki a pincék ajtajainak kinyitásával a leghidegebb téli időjárás idején. Napjainkban már a legtöbb esetben lemezes hőcserélőn keresztül vagy egyszerűen csak hűtőköpennyel ellátott hőszigetelt tartályokban végzik ezt a kezelést. Korábban már említettem, hogy a gyorsabb hűtés elősegíti a borkő nagyobb mértékű kicsapódását apró kristályok formájában.

Ezt a szabályt a bor alkoholtartalma alapján a bor fagyasztási hőmérsékletét meghatározó egyenletből vezetik le: A lassú stabilizálás esetén, sok esetben a technológiát úgy formálják, hogy a kezelés elején 30-40 g/hl KHT port adagolnak a kezelt borhoz. A bekeverést követően 36 órán át keverik a bort, annak biztosításával, hogy a bor ne oxidálódjon. A leghatékonyabbak a változó fordulatszámú motorral ellátott lapátos keverők, amelyek azt is biztosítják, hogy csak minimális mennyiségű oxigén oldódjon be a borba. Jelentős a túlzott oxidáció veszélye, mivel alacsony hőmérsékleten a gázok könnyebben oldódnak. A lassú stabilizálás gyakran okoz színvesztést mind a vörös-, mind a fehérboroknál. Ezért ajánlott a kezelés időtartamát csökkenteni a KHT apró szemcseméretű kristálypor hozzáadásával, amelyek könnyebben tarthatók homogén szuszpenzióban.

### **3.7.2. Gyors hidegstabilizálás: Statikus (Kontakt folyamat)**

Ennek a technikának az a nagy előnye, hogy a bor mesterséges hidegkezelését 4 órára, fehérborok esetében néha ennél is kevesebb időre csökkenti. Továbbá a bort már nem kell negatív hőmérsékleten tartani, hanem csak 0°C-on, ami nemcsak az energiafogyasztást, hanem a berendezéseken való megfagyást is minimalizálja. Egy hőszigetelt, kúpos fenekű tartályt, úgynevezett kristályosítót használnak. A ciklus végén a felesleges kristályok eltávolítására szolgáló leeresztő csappal van felszerelve. Ilyen nagy teljesítményt csak ilyen típusú gyors stabilizációs kezeléssel lehet elérni, nagy mennyiségű KHT porral (400 g/hl) történő bekeveréssel. Ezt a nagy mennyiségű, kis kezdeti szemcsemérettel rendelkező kristálytömeget feltétlenül szuszpenzióban kell tartani egy keverő segítségével, ügyelve a nem kívánt oxidáció elkerülésére. Célszerű a bort inert gázzal lefedni, vagy legalábbis légmentesen záródó kristályosítót használni. A kezelés hatékonyságát az előzőekben levezetett gyorsreagálású elemzési technikával lehet ellenőrizni. Ha az eredmények kielégítőek, a keverést le kell állítani, hogy a tartarát nagy része leülepedhessen a kristályosító kúpos alján. A teljes tisztulást nem könnyű elérni. A centrifugálás alkalmazásakor nagy körültekintéssel kell eljárni, mivel a kristályok erősen koptató hatásúak. Természetesen mindezeket a műveleteket 0°C-on kell elvégezni. A statikus érintkezési eljárás nagyon rugalmas rendszer. Lehetőség van napi 2-3 ciklus lefuttatására, 50-100 hl-es mennyiségekkel egy-egy tételben. Ez a technológia a kis és közepes méretű borászatok számára ajánlott.

### 3.7.3. Dinamikus folyamatos



**16. ábra:** Folyamatos KHT stabilizáló berendezés vázlati rajza (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006)

Az előző "szakaszos" technológiától eltérően az itt bemutatott eljárás egy folyamatos bitartarát-stabilizálási folyamat (**16. ábra**), ahol a kristályok borral való érintkezésének időtartamát, azaz a kezelési időt a kristályosító térfogatához viszonyított átmenő teljesítmény határozza meg. Így például, ha az áteresztőképesség 60 hl/h és a kristályosító térfogata 90 hl, a bor által a rendszerben töltött átlagos idő 1 óra 30 perc. Ehhez a technológiához kiemelten fontos, hogy nagyon rövid válaszdővel rendelkező hatékonyság-ellenőrzési módszerre van szükség. A kezelési eredményeket nagyon gyorsan meg kell állapítani, mivel az ilyen mennyiségű bor kezeléséhez szükséges energia drága, és a felesleges extra kezelés semmiképpen sem javítja a minőséget. A folyamatos kezelés érthetően több figyelmet igényel, mint a többi eljárás, de hatékonyabb is. A KHT szuszpenzióban lévő szemcseméretét és a kristályosítóban lévő szintjét a kezelés ideje alatt néhány óránként mintavétellel kell ellenőrizni a leürítő rendszer segítségével. A keverést részben a kristályosítóba történő érintőleges borbevitel biztosítja. Ez turbulenciát hoz létre a folyadék tömegében, és a kis méretű kristályokat szuszpenzióban tartja. Ezen felül a bor mechanikusan is keverhető. Az áteresztőképességet, azaz a kristályosítóban töltött átlagos időt a bor kezdeti túltelítettségi állapota, valamint a bor mesterséges hidegstabilizálás előtti előkészítő kezelések típusának függvényében kerül meghatározásra. Ennél az eljárásnál a legfontosabb, hogy a bornak jól előkészítettnek és mindenekelőtt megfelelően tisztának kell lennie ahhoz, hogy a gyors mesterséges hidegstabilizáló kezelések eredményességét biztosítani lehessen.

### 3.8. A kalcium-tartarát kiválás megelőzése

A borok stabilizálása a kalcium-tartarát kicsapódásának megakadályozása érdekében nem könnyű, mivel a kálium-bitartarát kristályosodása nem indukálja a kalcium-tartarát kristályosodását. Ezzel szemben a CaT kristályosodása a KHT kristályosodását indukálhatja. A kalcium-tartarát kicsapódásának megakadályozását tovább bonyolítja az a tény, hogy a CaT oldhatósága nem nagyon érzékeny a hőmérsékletre (Postel, 1983). Így a CaT 20°C-on alig háromszor oldódik jobban, mint -4°C-on. Továbbá (Abguéguen & Boulton, 1983) szerint, bár a CaT kristályosodási kinetikájának nagyobbak kell lennie, mint a KHT-nak, a CaT spontán kristályosodásához szükséges idő sokkal hosszabb (Abguéguen & Boulton, 1983). Így könnyebben érthető, hogy miért fordul elő általában több éves érlelés után a borban a kalcium-tartarát kicsapódása. A kálium-bitartarát kutatásaik alapján az

elektromos vezetőképesség méréseivel meghatározták a Celsius-fokban kifejezett szupertelítési mező szélességét, valamint a különböző bortípusok kalcium-tartarát telítési hőmérsékletét. (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006)

A kalcium-tartarát alacsony oldhatósága azt jelzi, hogy a telítési hőmérséklete valószínűleg sokkal magasabb, mint a kálium-bitartaráté. A kalcium-tartarát kicsapódásának elkerülése érdekében a fehér és rozé borok esetében a telítési hőmérsékletének 26°C-nál alacsonyabbnak kell lennie, hogy a bor egy hónapig 2°C-on tartása esetén ne képződjenek kalcium-tartarát kristályok. A vörösborok kalcium-tartarát telítési hőmérsékletének 35°C alatt kell lennie. (Postel, 1983) szerint 100 mg/l metaborkősav hozzáadásával a 4°C-on tárolt bor több hónapon keresztül stabilizálható, így nem alakul ki benne a CaT kristályos lerakódása (Postel, 1983). Ezenkívül a racém borkősav (D-L-borkősav) használatát javasolták a felesleges kalcium eltávolítására (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006). Mindkét esetben a kalcium racemát, ami egy erősen oldhatatlan só, kicsapása teljesen eltávolítja a kationokat. A kezelés hatékonysága a bor kolloidtartalmától függ, mivel az akadályozza a sók kicsapódását. Napjainkban ezeket a kezeléseket a különböző borvidékeken a termelt bortípusoknak megfelelően különböző mértékben alkalmazzák. Végül az ioncsere és az elektrodiálízis szintén a kalcium-tartarát kiválások megelőzésére szolgáló eljárások.

### **3.8.1. A metaborkősav használata**

Elképzelhető a kristályosodást gátló anyagok hozzáadása is. A metaborkősav jelenleg a legszélesebb körben használt termék erre a célra. A karboximetilcellulózt és az élesztőből kivont mannopeptideket szintén javasolják stabilizátorként. Úgy tűnik, hogy hatékonyságuk a bor típusától függően változik, még inkább pedig a védőkolloidok jelenlététől. A metaborkősav egy olyan poliszter, amely a borkősav molekulák közötti észterítésből származik, a törvényileg előírt minimálisan 40%-os arányban. Legfeljebb 10 g/hl dózisban használható a tartarát kicsapódásának megakadályozására (kálium-bitartarát és kalcium-tartarát) (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006). A metaborkősav nem egyetlen vegyület, hanem diszpergált polimer, azaz különböző molekulatömegű polimerek keveréke. Számos metaborkősav-készítmény létezik, amelyek különböző kristályosodásgátló tulajdonságokkal rendelkeznek. A metaborkősav úgy hat, hogy ellenáll a szubmikroszkopikus magok növekedésének, amelyek körül kristályok képződnek. A metaborkősav nagy, nem kristályosodó molekulái a tartarát-kristályképződés során útban vannak, gátolva a kristályok növekedésének jelenségét. Kimutatták, hogy a stabilitás a tartarát-kiválások szempontjából a következő időtartamokig tekinthető hatékonynak, a hőmérséklettől függően:

több év → 0°C-on

több mint két év → 10-12°C-on

egy év és tizenhét hónap között télen → 10°C és nyáron 18°C közötti hőmérsékleten

három hónap 20°C-on

egy hónap 25°C-on

A metaborkősav alkalmazása akkor lehet ajánlott, ha biztosan tudjuk, hogy lepalackozott borunk rövid időn belül forgalomba kerül és teljesen el is fogy.

### 3.8.2. Élesztő mannoproteinek használata

Jól ismert, hogy a bor, különösen a vörösbor, természetes módon tartalmaz olyan makromolekulákat, amelyek védőkolloidként működnek. A borban jelen lévő koncentrációban ezek az anyagok általában akadályozzák a tartarát kristályosodását, de nem gátolják meg teljesen. Sajnos kevés olyan kutatás ismert kristályosodást gátló anyagok kapcsán, amely borban való izolálásukra és stabilizáló tulajdonságaik kihasználására irányul. Éppen ellenkezőleg, sok éven át jelentős erőfeszítéseket tettek e kolloidok drasztikus finomítással és szűréssel történő eltávolítására, mivel ezek csökkentik a fizikai stabilizációs kezelések, különösen a hidegstabilizáció hatékonyságát. Ismeretes azonban, hogy a fehérborok hagyományos, több hónapos, élesztőseprőn történő hordós érlelésének gyakorlata gyakran nagyfokú tartarátstabilitást biztosít, így a hidegstabilizálás szükségtelenné válik. Bordeaux-ban a legtöbb seprőn érlelt száraz fehérbor az első tél után márciusban még nem stabil, de júniusra vagy júliusra minden további kezelés nélkül stabilizálódik. Ha ugyanezeket a borokat nem seprőn érlelik, akkor mesterségesen hidegstabilizálni kell őket, hogy megvédjék őket a bor kristályosodásától. Mivel ismert, hogy a fehérborok az élesztő által a seprőn való érlelés során felszabaduló mannoproteinekkal gazdagodnak, ésszerű feltételezni, hogy ezek a makromolekulák hozzájárulnak a borok borkősav-stabilizációjához. Az élesztőfalak enzimes kezelésével kivont mannoproteinek kristályosodást gátló hatásának felfedezése új dimenziót adott a témának (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006). Ami nehézséget jelent a mannoproteinek alkalmazásával kapcsolatban, hogy befolyásolják a borok ízérzetét. Vannak olyan borok, amelyeknél lehetséges a használatuk, hiszen a bor tárolása is finomseprőn történik, viszont sok esetben ennek elkerülése a cél.

### 3.8.3. Karboximetilcellulóz

A karboximetilcellulóz (CMC) egy poliszacharid. A metaborkősavhoz és a mannoproteinekhez hasonlóan polimer szerkezete "védőkolloid" tulajdonságokat kölcsönöz neki. A CMC-k por vagy fehér szemcsék formájában kaphatók. Mivel ezek a levegőből nedvességet vesznek fel, száraz helyen kell tárolni őket. A CMC a kálium-bitartarát kristályok alakját is módosítja.

### 3.8.4. Ioncserélők

Az ioncserélő reakciókat különböző funkciós csoportokkal aktivált, oldhatatlan polimergyantákkal végzik. A polimerizált anyag általában sztírol és vinilbenzol keverékén alapul.

Az ioncserélőket működésük szerint két típusba soroljuk: a kationcserét, amely savasításnak nevezhető, ha a gyanta  $H^+$  -ionokat szabadít fel, és az anioncserét, amely savtalanításhoz vezethet, ha a gyanta  $OH^-$ -ionokat szabadít fel. A  $H^+$ -tól és  $OH^-$ -tól eltérő kationok és anionok között is történhet csere, amely esetben nem változtatja meg a pH-értéket. Az ioncsere-jelenségek sztöchiometrikusak, azaz 37 mg káliumot 23 mg nátriummal, 40 mg kalciumot 46 mg nátriummal cserélnek ki. Az ioncsere mértéke függ a gyanta típusától: a szemcsemérettől, a porozitástól és az áteresztőképességtől. Egy-egy gyanta általában specifikus affinitással rendelkezik a különböző ionok iránt. Ez a jelenség számos tényezőnek köszönhető, többek között a mátrix polimerizált szerkezetének, a cserélő gyökök kémiai jellemzőinek, a cserélőkapacitásnak és a pH-nak.

A csere könnyűsége a cserélőion vegyértékének növekedésével nő:  $K^+ < Ca^{2+}$ . Ez azt jelenti, hogy a borban lévő kétértékű ionok, mint például a kalcium és a magnézium, a gyantához kötődnek az egyértékű nátrium- és káliumionokkal szemben.

Ha két ion azonos vegyértékű, a csere könnyebbsége az atomszámmal együtt nő. A kálium a nátriumot, a kalcium pedig a magnéziumot részesíti előnyben.

A borkészítésben használt gyantáknak több kritériumnak kell megfelelniük: mechanikai szilárdság, teljes oldhatatlanság a borban és nem kívánt idegen ízekről mentesek legyenek. Ezeknek a gyantáknak többször regenerálhatónak is kell lenniük.

Az első kísérletek az ioncserélők borászati alkalmazásainak felkutatására az 1900-as évek második felére nyúlnak vissza. Ezeket a technikákat akkoriban teljes mértékben elutasították, először Franciaország, majd az OIV (Office International de la Vigne et du Vin) ajánlására. Hamarosan világhíressé vált azonban, hogy különbséget kell tenni a következők között:

1. A kationcserélők, amelyek a  $K^+$  és  $Ca^{2+}$  eltávolításával javítják a borkő stabilitását.
2. Anioncserélők, amelyek lehetővé teszik a savtartalom csökkentését  $OH^-$  hozzáadásával, vagy akár bizonyos specifikus savak (borkősav vagy ecetsav) csökkentését. Fennáll azonban az íz és az összetétel jelentős megváltozásának veszélye.

Azokban az országokban, ahol engedélyezettek, a legelterjedtebbek a kationcserélők, míg az anioncserélők szintén engedélyezettek, de nagyon keveset használják őket. A kation cserélő gyanták alkalmazásának elsődlegesen a borkő stabilizálás a célja, és melegebb évszakokban, ahol a borok pH értéke túl magas, ott a cél a pH csökkentése is lehet. Az eljárás alatt törekedni kell arra, hogy elkerüljék a végtermék pH-értékének jelentős módosítását. Kezelés közben a gyantán áthaladó bor, miközben a  $K^+$  és  $Ca^{2+}$  szintek csökkentésével biztosítja a tartarát stabilitását a bor pH-értékének túlzott, ha csak átmeneti ingadozásával jár: a pH-érték a kationcserélő gyanta kimeneténél 1,8-ra csökken. Ez a folyamat azonban sok esetben túl drasztikus, de arról sem szabad megfeledkezni, hogy a gyantán a teljes bor átengedése nem a célunk, mert csak csökkenteni szeretnénk a bor CaT és KHT szintjét, nem pedig teljesen kivenni azt. Ezért sok esetben a teljes bormennyiség csak egy részét érdemes kezelnünk és azt később vissza lehet házasítani megfelelő arányban a kiinduló, kezeltetlen tételhez.

### **3.8.5. Az elektrodialízis**

Az elektrodialízis az ionok elválasztására szolgáló módszer olyan szelektív membránok segítségével, amelyek az ionok számára töltésük szerint áteresztőképesek. Az ionokat elektromos tér mozgatja egyik vagy másik irányba. Így a töltött ionok nagy része kivonható az oldatból. Az elektrodialízis elve a szelektív membránok azon tulajdonságán alapul, hogy csak kationokat vagy anionokat engednek át. Az elektrodialízissel már 1975-ben végeztek kezdeti kísérleteket, de 20 évbe telt, amíg a borban a tartarát stabilizálására alkalmas rendszert fejlesztettek ki (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006).

Ez idő alatt nagy munkát végeztek el az elektrodialízis borstabilizálásra való alkalmazás feltételeinek meghatározásával, a megfelelő membránok azonosításával és a folyamatszabályozással, hogy minden egyes bort az adott bor instabilitási szintjének megfelelően kezeljenek (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006). Ezáltal az elektrodialízis technológia megbízhatóvá és hatékonyá vált, miközben elkerülhetővé vált a bor kémiai összetételének túlzott megváltoztatása.

Az elektrodialízis cella két rekeszből áll, amelyeket váltakozó anion- és kationmembránok választanak el egymástól. Az elektródvégeken lévő potenciálkülönbség hatására a kationok a katód felé, az anionok pedig az anód felé vándorolnak. A kationok áthaladnak a kation-permeábilis membránon, és az egyik oldalon koncentrálnak, mivel a következő membrán csak az anionok számára permeábilis. Hasonlóképpen, az anionok a pozitív elektróda felé vándorolnak, áthaladnak az anion-permeábilis membránon és megállnak a következő membránon, mivel az csak a kationokat engedi át. Ahogy a folyamat folytatódik, a következő részben elveszíti ionjait (anionokat és kationokat), és tartalmát "diluátumnak" nevezzük. A következő rekeszben lévő ionokkal dúsított oldatot "koncentrátumnak" nevezzük. A "koncentrátum" kör egy sóoldatból áll, amely összegyűjti a borból kivont ionokat. Az ionterhelést víz hozzáadásával állítják be, hogy elkerüljék a bitartarát-kristályok kicsapódását a kis, könnyen eltömődő cellákban. Ezt a funkciót is automatikusan szabályozzák a vezetőképesség-mérések.

A membránok kiválasztása:

A membránok 100-200  $\mu\text{m}$  vastagságú filmek, amelyek szerves anyagra oltott ionizált funkció csoportokból állnak, úgynevezett polimer mátrixok. Egy adott membrán ionátadási kinetikája egy adott ionerősségnél több paramétertől függ, többek között az oldott anyag méretétől és mozgékonyaságától, amelyek meghatározzák a sebességállandót. Ezek a változók magyarázzák a különböző ionok különböző membránokkal történő kezelésénél megfigyelhető migrációs különbségeket (Audinos, 1983).

A  $\text{K}^+$  az a kation, amely a legkönnyebben vándorol, míg a  $\text{Na}^+$  és a  $\text{Ca}^{2+}$  sokkal kevésbé mobilis, és következésképpen kevésbé csökken a mennyisége kezelés közben. Kísérletileg megfigyelték, hogy a "kation-permeábilis" és "anion-permeábilis" membránpárok különböző kombinációi eltérő kapacitással rendelkeznek a különböző ionok eliminálására. A megfelelő membránpár kiválasztásával fokozható a kálium elimináció, így a tartarátstabilizálás anélkül érhető el, hogy az ecetsavtartalom nagymértékben módosulna, mivel ez elfogadhatatlan lenne. A káliumot eltávolító membránpárok általában csökkentik a pH-t, még akkor is, ha a borkősavtartalom csökken. Az elektrodialízissel végzett borkőstabilizáláshoz használt membránoknak meg kell felelniük a szabályozási előírásoknak és a borászati specifikus kritériumoknak. A membránok nem módosíthatják túlzott mértékben a bor fizikai-kémiai összetételét és érzékszervi jellemzőit. A következő követelményeknek kell megfelelniük:

- Csak olyan anyagokat használhatnak fel a gyártás során, amelyek engedélyezettek a borral történő közvetlen érintkezés szempontjából.

- Nem oldódhatnak ki belőlük olyan anyagok, amelyek veszélyeztethetik az emberi egészséget vagy befolyásolhatják a bor minőségét.

- Használatuk miatt nem képződhetnek olyan új vegyületek, amelyek eredetileg nem voltak jelen a borban.

A bor instabilitását befolyásolhatják az elektrodialízis előtt végzett különböző kezelések (szűrés, finomítás stb.) A folyamat üzemi hasznosításának feltétele az előzetes vezetőképesség-vizsgálat és a megfelelően szabályozott automatikus vezérlőrendszer. Ugyanez a rendszer a működés közben az automatikus ellenőrzésre szolgál, egy olyan vezetőképesség-beállítási pontot használva, amely alatt - amint azt az előzetes teszt kimutatta - felesleges folytatni az elektrodialízist. A kezelés így minden egyes borhoz annak sajátos instabilitásának megfelelően igazodik, olyan feltételek mellett, amelyek biztosítják, hogy a bor kémiai összetétele ne változzon túlzott mértékben. A szükséges vezetőképesség-csökkenés a bortól függ, általában 150 és 500  $\mu\text{S}$  között változik. Az ionsökkentés fiatal borok esetében 15-20%, idősebb borok esetében pedig 5-15% között változik. Az automatikus vezérlőrendszer megakadályozza, hogy a készülék a stabilitás biztosításához szükséges határértéket meghaladó mértékben távolítsa el az ionokat, így a bor összetételében bekövetkező változások elfogadható tartományon belül maradnak. Az elektrodialízis hatékonyabb a fehérborok kezelésében, mint a vörösborokéban, ha azonos szintű kezelésre van szükség. A vörösborban lévő kolloidális szerkezet növeli a membránfelület ellenállását, ami az ionátadási sebesség csökkenéséhez vezet. A membránok rendszeres tisztítása mérsékli ezt a hatást.

Az elektrodialízis rendkívül hatékonyan távolítja el az ásványi kationokat. A káliumionok vándorolnak a leggyorsabban. A káliumkoncentráció csökkenése és a vezetőképesség csökkenése között lineáris összefüggés van. A nátrium-, vas- és rézkoncentráció enyhén csökken, de a kalciumtartalom szinte változatlan marad. Az anionok kevésbé érintettek, így csökken a pH. A borkósavra van a legerősebb hatással az elektrodialízis. A vezetőképesség 20%-os csökkenése a borkósavtartalom 10-15%-os csökkenésének felel meg. Az illósvartartalom is enyhén csökken, akárcsak az alkoholtartalom.

A bor kémiai összetételének többi elemére (polifenolok, poliszacharidok, aminosavak és illékony vegyületek) nincs nagy hatással az elektrodialízis – különösen a vörösborok kolloid színezőanyagaira van kisebb hatással ez a kezelés, mint a hidegstabilizálás.

Egy olyan rendszer, amely képes a kezelés intenzitását olyan szintre szabályozni, amely éppen csak biztosítja a tartarát-stabilitást, nyilvánvaló előnyökkel jár. Általánosságban elmondható, hogy a vörösborok esetében a vezetőképesség szükséges csökkenése a kiindulási érték 5-20%-a között változik. A fiatal fehér és testes vörösboroknál ez az érték 30%.

Az elektrodialízissel kezelt borok érzékszervi szempontból némileg eltérnek a hagyományos hidegstabilizálással kezelt boroktól. A különbségek azonban nem elegendőek ahhoz, hogy a borokat preferencia szempontjából osztályozni lehessen.

Az irodalmi áttekintés végére készítettem egy táblázatot, amely jól összefoglalja a KHT és CaT kiválását befolyásoló tényezőket, azok összefüggésének mértéke alapján **(3. táblázat)**.



**3. táblázat:** A kálium-hidrogén-tartarát és a kalcium-tartarát kiválását befolyásoló tényezők (2023)

| Paraméter             | Kálium-hidrogén-tartarát | Kalcium-tartarát |
|-----------------------|--------------------------|------------------|
| borkősav koncentráció | +++                      | +++              |
| kálium koncentráció   | +++                      | -                |
| kalcium koncentráció  | ++                       | +++              |
| pH                    | ++                       | ++               |
| alkohol               | +                        | +                |
| cukor                 | ++                       | +++              |
| cukormentes extrakt   | ++                       | +++              |
| hőmérséklet           | +++                      | -                |
| kristálygócok         | +++                      | -                |

„+” - kis mértékben befolyásol tényező, „++” - közepes mértékben befolyásoló tényező, „+++” jelentős mértékben befolyásoló tényező, „-” - nem befolyásoló tényező

## 4. Anyag és módszer

Az irodalmi áttekintést olvasva egy szélesebb képet kaphattunk a hidegkezelési technológiák széles köréről és a lehetséges vizsgálati módszerek alkalmazásáról. Kutatásomban szeretnék egy új módszert bemutatni, amellyel a hidegkezelés megoldható és a stabilitás vizsgálata is egyszerűbb és megbízhatóbb lenne. Az elmúlt években egyre több problémát jelent a borágazatban az emelkedő kalcium és kálium szintek kérdése. Ahogy már korábban részleteztem, nincs olyan pincészet napjainkban, akit ez a kérdés ne foglalkoztatna. A vezetőképesség alapján végzett stabilitási vizsgálatok sokszor nehezen kivitelezhetőek és pontatlannak is bizonyulnak, ezért szeretném egy másik oldalról megközelíteni a problémát.

A kísérlet elvégzését Badacsonyörsön végeztem a Varga Pincészet Kft. kutató laborjában. A kísérlet elvégzéséhez szükséges borokat a Varga Pincészet által feldolgozott és készített borok adták. A kísérletben több 2022-es évjáratból származó bort vizsgáltunk. A borok mindegyike fehérbor volt. Azonban, hogy a védőkolloid szerepét is meg tudjuk állapítani a vizsgálat során, és a szélesebb körű tesztelés érdekében is mindent elkövessek, ezért több fajta bortípust választottam a kísérlethez. Annak érdekében, hogy az adatok minél átfogóbbak legyenek, több borvidékről származó mintát is a kísérletbe választottam (**17. ábra**), hogy láthassuk, az eltérő borvidékek miként befolyásolják a kapott eredményeket.



**17. ábra:** A stabilitási vizsgálat mintái a kísérlet kezdetén

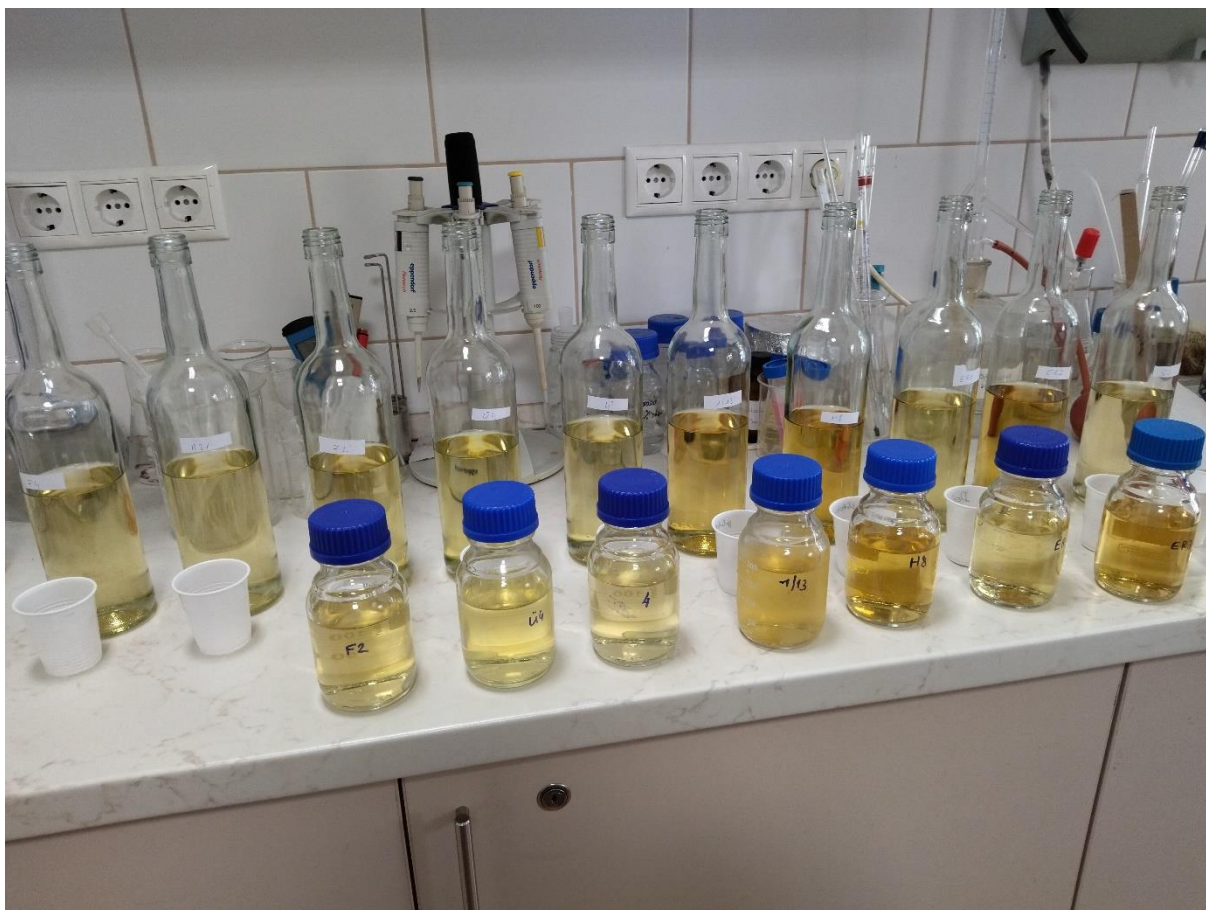
**4. táblázat:** A kísérletben szereplő minták száma, azonosítója, típusa és termőterülete

| Minta azonosítója | Bor megnevezés | Típus                           | Termőterület |
|-------------------|----------------|---------------------------------|--------------|
| F4                | Irsai olivér   | száraz                          | Badacsony    |
| R21               | Irsai olivér   | száraz                          | Badacsony    |
| F2                | Szürkebarát    | félédes (utólag édesített)      | Badacsony    |
| Ü4                | Szürkebarát    | édes (természetes maradékcukor) | Badacsony    |
| 4                 | Chardonnay     | száraz                          | Eger         |
| 1/13              | Muskotály      | félédes (utólag édesített)      | Eger         |
| H8                | Olasz rizling  | édes (természetes maradékcukor) | Badacsony    |
| ER1               | Zeusz          | édes (természetes maradékcukor) | Badacsony    |
| ER3               | Hárslevelű     | édes (természetes maradékcukor) | Eger         |
| Ü5                | Olasz rizling  | édes (természetes maradékcukor) | Badacsony    |

A vizsgálatot első lépésként a borok hideg stabilitását befolyásoló tényezők mérésével kezdtük. A kísérlet során minden paraméter mérését háromszori ismétléssel végeztük el. Az alábbi paraméterekre terjedt ki vizsgálatunk:

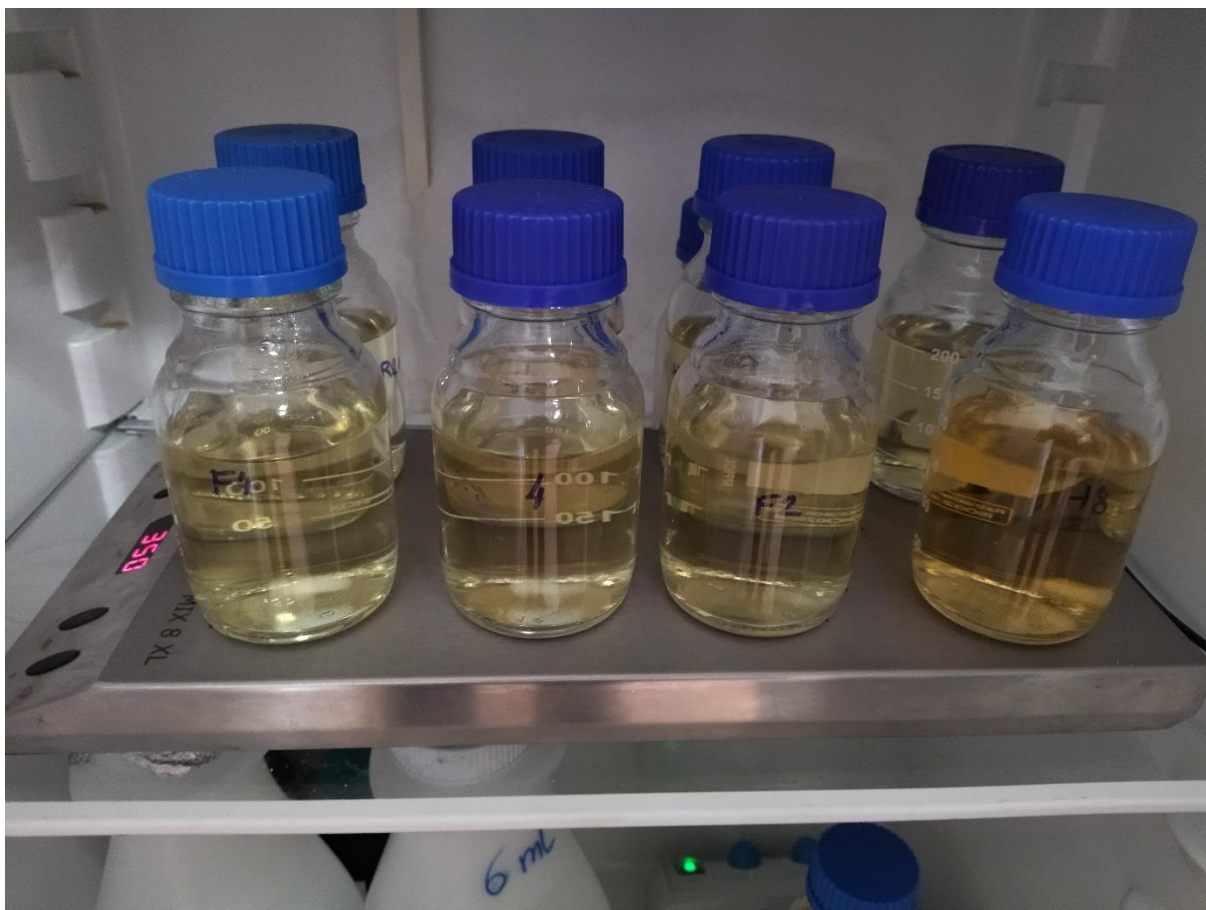
- pH
- Ca tartalom (mg/l)
- K tartalom (mg/l)
- borkősav tartalom (g/l)

Eredmények kiértékelésének módszere: elméleti oldhatósági szorzat alapján.



**18. ábra:** A 200 ml mennyiségű minták kiöntése zárható laborüvegbe

Ezt követően a rendelkezésre álló minták mindegyikéből 200 ml mennyiségű bort átöntöttünk zárható laborüvegbe (18. ábra), és a mintákba egy-egy keverőmágnest helyeztünk. Az így előkészített mintákat egy szabályozható hőmérsékletű hűtőbe tettük, melynek hűtésvezérlőjét előtte kalibráltuk, és ezt követően  $-2^{\circ}\text{C}$ -ra állítottuk.



**19. ábra:** A minták folyamatos keverése és hűtése még kontaktáló anyag nélkül

A borokat úgy helyeztük el a hűtőszekrényben, hogy azokat egy mágneses keverőberendezésre tettük, ezáltal az üvegekben lévő bor keverése folyamatosan biztosított volt (**19. ábra**). A borok hőmérsékletének változását kalibrált, digitális hőmérővel ellenőriztük, egészen amíg a  $-2^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletet el nem érték. A lehűlést követően mindegyik mintához 5-5 gramm porított kalcium-tartarát és kálium-hidrogén-tartarát kristályt adagoltunk (**20. ábra**).



**20. ábra:** Egy mintához szükséges kontaktáló anyag



**21. ábra:** A minták már bekeverve kontaktáló anyaggal

A kezelőanyag pontos összetételét a gyártó titkos receptúráként tartja számon, sajnos semmilyen felületen sem érhető el. Az anyagról csak annyit tudhatunk, hogy egyharmad arányban tartalmaz CaT-ot és kétharmad arányban pedig KHT-ot. A por bekeverését követően (21. ábra) a legfontosabb volt, hogy a keverőberendezés sebességét annak megfelelően állítsuk be, hogy a borba belekevert kristályok közül minél több maradjon szuszpenzióban az oldatban lebegve. A beoldást követően 48 órán át  $-2^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten állandó keverés mellett tartottuk a mintákat. Ezt követően vettük ki őket a hűtőszekrényből, és a visszaoldódás elkerülése végett rövid ülepedési időt vártunk csak, mielőtt 0,45 mikrométeres üvegszálászűrőn keresztül leszűrtük a mintákat. A szűrést követően az első méréshez hasonlóan újra lemértük a kezelt borok alábbi paramétereit:

- ph
- Ca tartalom (mg/l)
- K tartalom (mg/l)
- borkősav tartalom (g/l)

#### 4.1. Kalcium mérés

komplexometriásan, ioncserés mintaelőkészítéssel

Szükséges anyagok:

- ionmentes víz
- erősen savas kationcserélő gyanta Na-forma
- 2 M NaCl-oldat: 180 g NaCl 1500 ml ionmentes vízben feloldva
- 2 M NaOH-oldat: 80 g NaOH 1000 ml ionmentes vízben feloldva
- murexid indikátor: 0,2 g murexidet 100g NaCl-dal eldörzsölünk
- komplexon III-mérőoldat 0,01M,  $f=1,0000$

Szükséges eszközök:

- mágneskeverő
- buretta

A minta előkészítése:

- Na-formában lévő ioncserélő gyantából Erlenmeyer-lombikba  $0,8 \pm 0,01$ g mennyiséget bemérünk, vagy előzőleg már használt gyantáról dekantáljuk a sóoldatot 50-50 ml ionmentes vízzel történő négyszeri lemosással
- kalcium megkötés: a gyantához hozzámérünk 50 ml bormintát, hozzáadunk (ha még nincs benne) egy mágneskeverő pálcát, majd felrakjuk legalább fél órára kevertetni 4,5-es fokozaton
- fél óra elteltével levesszük a mintát a mágneskeverőről és óvatosan leöntjük az összes kalciumot tartalmazó gyantáról a bort és négyszer 50 ml ionmentes vízzel dekantáljuk
- kalcium visszanyerés+gyanta regenerálás: 50 ml 2M NaCl oldatot adunk a gyantához, majd újra felrakjuk fél órára a mágneskeverőre
- vakpróba: a fentiek szerint, csak bor helyett ionmentes vizet mérünk be az elején, de a gyanta többszöri (4-5-szöri) használata után nem kell vakpróba, mert a vak érték beáll konstans 0,2 ml fogyasztásra, ami megfelel 4 mg/l Ca-nak

A mérés menete:

- fél óra elteltével levesszük a lombikot a mágneskeverőről, majd kipipettázunk belőle 20 ml-t, és ionmentes vízzel kb. 50 ml-re kiegészítjük a térfogatát
- hozzáadunk 5 ml 2M NaOH-oldatot
- hozzáadunk egy késhegynyi mennyiségű murexid indikátort, majd azonnal titrálni kezdjük
- átcsapás: rózsaszínből lila színbe

Számítás:

figyelembe véve a 20 ml-es bemérést, az alábbi egyszerű képlettel meghatározható a kalcium tartalom:

$$\text{Ca (mg/l)} = V_f \cdot 20$$

Ahol  $V_f$ : a 0,01 M 1,0000-es faktorú komplexon(III)-mérőoldat fogyása

## 4.2. Kálium mérés (lángfotometriás módszerrel)

Szükséges anyagok:

- ionmentes víz
- 1000 mg/l kálium törzsoldat
- 5 mg/l kálium kalibráló oldat
- 10 mg/l kálium kalibráló oldat
- PB gáz (palackos)

Szükséges eszközök:

- lángfotométer (Jenway PFP7)
- 100 ml-es mérőlombikok
- 250 ml-es Erlenmeyer-lombik

Standard oldatok készítése:

Első lépésben 1000 mg/l K-koncentrációjú törzsoldatot készítünk. Ehhez bemérünk  $1,2820 \text{ g} \pm 0,0005 \text{ g}$  kristályos kálium-hidrogén-karbonátot, feloldjuk ionmentes vízben, majd 500 ml-ig kiegészítjük. A törzsoldatból a megfelelő hígítással készítjük a standard oldatokat 100 ml térfogatban.

Mérés elve:

Az alkálifémek (és alkáliföldfémek) oldataiból képzett finom és (ködkamrában és cseppleválasztóban homogenizált) egységes cseppméret eloszlású aeroszol a lángba jutva az oldószer elpárolgása során részben ionjaira disszociál, illetve részben atomizálódik. A lángban jelenlévő alkálifém atomok külső elektronjai gerjesztődnek és az alapállapotba való visszatérésükkor a rájuk jellemző hullámhosszúságú fotont bocsátanak ki. A kibocsátott fény intenzitása, melyet egy optikai szűrő utáni fotodiódás detektorral mérünk, arányos a jelenlévő alkálifém koncentrációval.

Kalibrálás

A lángfotométert bekapcsoljuk, vele együtt indul a sűrített levegő-ellátást biztosító kompresszor is. A felhasználói kézikönyv utasítása szerint a gázszelepet beállítjuk, majd a piezo gyújtó segítségével a lángot begyújtjuk. Ezután a mintafelszívó csövet az ionmentes vízbe helyezzük.

Negyedóra elteltével a mintafelszívó csövet az 5 mg/l koncentrációjú kalibráló oldatba helyezve beszabályozzuk az optimális gázmennyiséget – legnagyobb jel intenzitáshoz tartozó szelepállást keressük. Ezután vízbe helyezzük a mintafelszívó csövet, majd a detektor stabilizálódása után a „blank” potméterrel beállítjuk a „0” értéket. Ezután visszahelyezzük a csövet az 5 mg/l-es kalibráló oldatba és a „fine” potméterrel beállítjuk az 5,00 értéket. Újra vízzel öblítünk, ellenőrizzük, hogy visszaáll-e a detektor a 0-ra, majd ezután a 10 mg/l-es kalibráló oldatra váltunk. A kijelzett értéknek 9,80 és 10,00 között kell lennie. Ellenkező esetben a „fine” gombbal tovább végezzük a detektor finom beállítását.



A minta előkészítése, a mérés menete

A bormintákat 200-szoros hígításban mérjük. A hígításhoz ionmentes vizet használunk.

A mintafelszívó csövet a mérendő hígított bormintába helyezzük. A kijelzett érték megszorozva a hígítással adja a végeredményt. A minták között 5 mintánként 5 mg/l koncentrációjú ellenőrző standard oldat mérést iktatunk be. A mérések közt mindig öblítünk ionmentes vízzel, mindaddig, amíg a detektorjel visszaáll 0,00-0,02 közé.

#### **4.3. HPLC berendezés és mérések**

A műszer típusa: HP Agilent 1100, 4 csatornás gradiensképző pumpa, autosampler, diódasoros UV-VIS és refraktométerias detektor

##### **Borkősav mérése**

Kolonna típusa: Phenomenex ROA-Organic acid H+, 300 mm\*7,8 mm

A mérés paraméterei az alábbiak voltak:

Eluens: 0,005 N kénsav-oldat, izokratikus elúció

Eluens áramlási sebesség: 0,5 ml/perc

Hőmérséklet: 40°C

Injektálási térfogat: 10 ul

Analízis idő: 30 perc

A kalibráció a tiszta vegyszerek ismert koncentrációban készített oldataival történt: D-glükóz, D-fruktóz, glicerin, citromsav, L-borkősav, almasav, borostyánkősav, tejsav 1, 2, 4 és 10 g/l koncentrációban, 9,6% V/V koncentrációjú alkohol-víz elegyben.

## 5. Eredmények és megvitatásuk

A mérések elvégzését követően a 2. számú melléklet **10. táblázatában** szereplő eredményeket kaptam.

A kapott eredményeket több módszerrel is kiértékeltem annak érdekében, hogy a lehető legtöbb információt tudjam kinyerni a kapott adatsorokból. Az irodalmi áttekintés során több módszert is tanulmányoztam, amelyek lehetőséget biztosítanak számunkra a hidegstabilitás kiértékelésére.

Az eredmények kiértékelése során több esetben szükségem volt a kezelés előtti és a kezelés utáni értékek összehasonlítására. Minden esetben az értékek különbségének kimutatásakor a kísérlet előtti mérési eredményből vontam ki a kontaktáló anyaggal történő kezelés utáni eredményt (**9. táblázat**).

A kísérlet kiértékelése szempontjából a CaT kiválás vizsgálatát szeretném alaposabban megvizsgálni. A CaT kiválás előrejelzéséről sokkal kevesebb információt sikerült összegyűjtenem az irodalmi áttekintés során, mert a KHT oldhatóságához képest bonyolultabb feladat az előrejelzése. A KHT stabilitást viszonylag egyszerű módszerekkel is el tudjuk érni, mivel a kristályképződés sokkal érzékenyebb a hőmérsékletváltozásra, ezért egy egyszerű  $-2^{\circ}\text{C}$ -ra történő hűtéssel és endogén KHT kristály adagolással biztosan sikerül a kellő stabilitást elérnünk. Ezen felül a KHT stabilitás előrejelzésére is sokkal több módszert sikerült kidolgozni, amelyeket az irodalmi áttekintés során részletesen leírtam, ilyen például a mini kontakt teszt, vagy az oldhatósági szorzat alapján történő előrejelzés.

### 5.1. Hidegstabilitás vizsgálata oldhatóság alapján

Az eredmények első kiértékelését az oldhatóság szempontjából vizsgáltam. Az oldhatósági számítás a kalcium-tartarát oldhatóságára vezettem fel. Mivel a borok alkoholtartalma viszonylag hasonló volt, és a CaT oldhatóság kisebb mértékben arányos az alkoholtartalommal, mint a KHT esetében, ezért a stabilitás számítása során csak az oldhatósági szorzatot vizsgáltam meg a borkősav disszociációs állandójának segítségével (**5. táblázat**).

**5. táblázat:** Az oldhatósági szorzat számításának módja és kiértékelése (2023)

| Minta         | Azonosító | Ca (mg/l) | Borkősav (g/l) | pH   | T%     | PC       | Stabilitás |
|---------------|-----------|-----------|----------------|------|--------|----------|------------|
| Irsai olivér  | F4        | 105       | 3,02           | 3,07 | 8,13%  | 4,30E-06 | instabil   |
| Irsai olivér  | R21       | 109       | 3,09           | 3,02 | 7,24%  | 4,07E-06 | instabil   |
| Szürkebarát   | F2        | 110       | 2,80           | 3,05 | 7,76%  | 3,98E-06 | stabil     |
| Szürkebarát   | Ü4        | 120       | 2,09           | 3,03 | 7,41%  | 3,10E-06 | stabil     |
| Chardonnay    | 4         | 59        | 1,57           | 3,17 | 10,23% | 1,58E-06 | stabil     |
| Muskotály     | 1/13      | 107       | 2,50           | 3,17 | 10,23% | 4,56E-06 | instabil   |
| Olasz rizling | H8        | 88        | 1,72           | 3,39 | 16,98% | 4,28E-06 | instabil   |
| Zeusz         | ER1       | 93        | 2,89           | 2,87 | 5,13%  | 2,30E-06 | stabil     |
| Hárslevelű    | ER3       | 79        | 1,73           | 3,23 | 11,75% | 2,68E-06 | stabil     |
| Olasz rizling | Ü5        | 58        | 1,41           | 3,29 | 13,49% | 1,84E-06 | stabil     |

Táblázat értelmezése:

T % érték: a teljesen disszociált tartarát ionok százalékos aránya az összes borkősavhoz képest. (**A borkősav pK értéke 4,16 alapján kiszámolva (3. ábra).**)

PC érték: koncentrációs szorzat: A kalcium ionok koncentrációja szorozva ( $\text{mol/dm}^3$ ) a tartarát ionok ( $\text{mol/dm}^3$ ) koncentrációjával és megszorozva a T% értékkel.

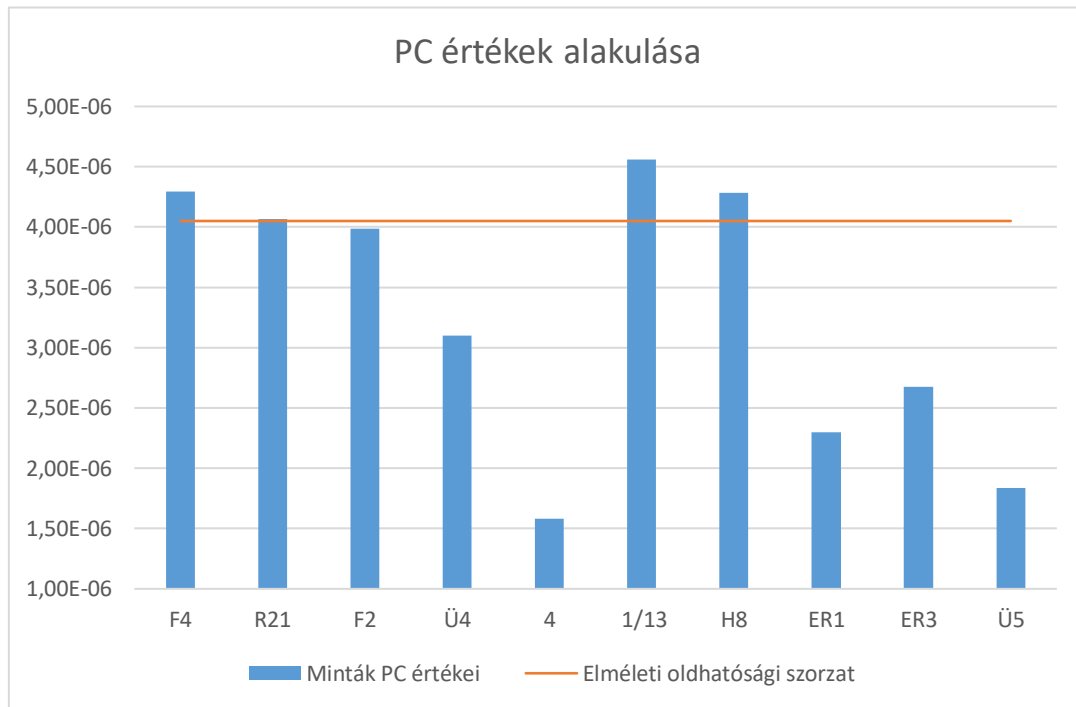
Számítás módja:  $PC = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{H}_2\text{T}] \cdot T\%$

Elméleti oldhatósági szorzat számítását a (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006) „Handbook of Enology Volume 2 The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments” tanulmány alapján végeztem. A bor 20°C-on megadott elméleti oldhatósága: 0,53 g/l CaT. A CaT kristályok képződése során a reakcióban 4 molekula kristályvíz is részt vesz. Az elméleti oldhatósági szorzat az alábbi egyenlettel számítható ki a  $[\text{Ca}^{2+}]$  és a  $[\text{T}^{2-}]$  mol/dm<sup>3</sup> mértékegységben megadott értékeiből.

$$PS = [\text{Ca}^{2+}] [\text{T}^{2-}] = 2,0125 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0125 \cdot 10^{-3} = 4,05 \cdot 10^{-6}$$

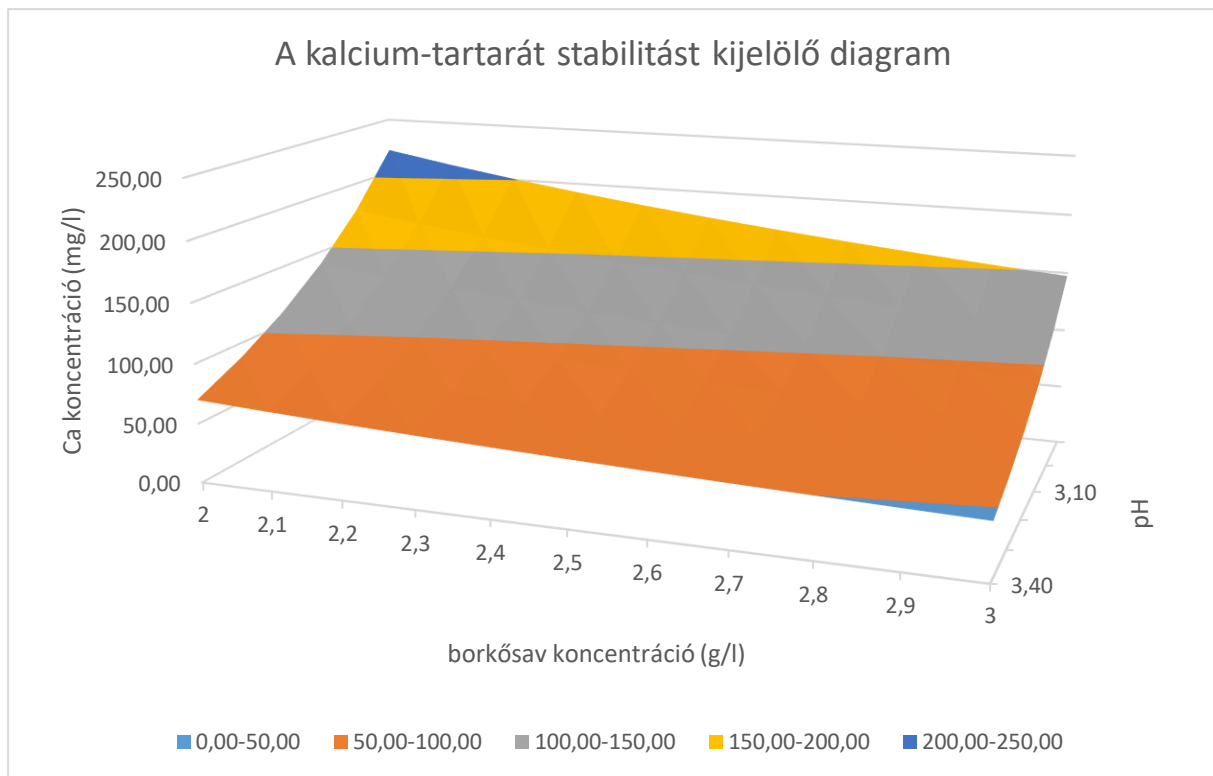
Az eredmények kiértékelése közben azokban az esetekben ítélt meg stabilnak a borokat, mikor az elméleti oldhatósági szorzat (PS) nagyobb volt, mint a számított koncentrációs szorzat (PC) (PS > PC). Tehát a borok kisebb mennyiségű CaT-ot tartalmaztak, mint amennyit elméletileg a túltelített oldatuk tartalmazna. Amennyiben viszont a

számított koncentrációs szorzat volt magasabb, mint az elméleti oldhatósági szorzat, azt instabilnak ítélem meg, mert a bor kalcium-tartarátúra túltelített állapotban volt.



**22. ábra:** Számított oldhatósági szorzatok (PC értékek)

A kapott PC értékeket oszlop diagramon is ábrázoltam, hogy jobban láthatóvá tegyem a kapott eredmények közötti különbséget (**22. ábra**). A diagramon szereplő piros vonal jelöli az elméleti oldhatósági szorzat értékét (PS). Azon eredmények, amelyek elérik vagy meghaladják a jelölt értéket, minden esetben instabilnak számítanak CaT stabilitás szempontjából.



**23. ábra:** A kalcium-tartarát stabilitását kijelölő diagram

A számított elméleti oldhatósági szorzatok alapján (PS értékek) készítettem egy 3D-s diagramot (**23. ábra**), amely megmutatja számunkra, hogy mely értékek mellett számít egy bor stabilnak vagy instabilnak. Ha a 3D-s felület feletti értékeket kapunk a számított oldhatósági szorzat eredményének (PC érték), akkor instabilnak számít a borunk, ha kisebb értéket, abban az esetben pedig stabilnak tekinthető. **(A borkósav pK értéke 4,16 alapján kiszámolva.)**

## 5.2. Hidegstabilitás vizsgálata kontaktáló anyaggal történő kezelés után, vizuális vizsgálattal

Második kiértékelésem vizuális vizsgálat alapján történt, miután a boroknak a kontaktáló anyaggal történő kezelése véget ért. Tehát a keverésüket megállítottam. Az ülepedési időszak első órája után szemrevételezéssel megvizsgáltam, hogy a keverőberendezésen lévő borok tisztasága vizuális szemrevételezés után mit mutat (24. ábra).



24. ábra: A folyamatos keverés után megállított, egy óra ülepedési idő utáni a minták

A szemrevételezést követően három külön csoportot tudtam elkülöníteni egymástól (6. táblázat).

**6. táblázat:** A szemrevételezést követően megfigyelt tulajdonságok (2023)

| Minta         | Azonosító | Ca (mg/l) | Borkősav (g/l) | pH   | Stabilitás | Leülepedett, alul csapadék | Opálos, alul csapadékkal | Teljesen zavaros |
|---------------|-----------|-----------|----------------|------|------------|----------------------------|--------------------------|------------------|
| Irsai olivér  | F4        | 105       | 3,02           | 3,07 | instabil   |                            | x                        |                  |
| Irsai olivér  | R21       | 109       | 3,09           | 3,02 | instabil   |                            |                          | x                |
| Szürkebarát   | F2        | 110       | 2,80           | 3,05 | stabil     | x                          |                          |                  |
| Szürkebarát   | Ü4        | 120       | 2,09           | 3,03 | stabil     |                            |                          | x                |
| Chardonnay    | 4         | 59        | 1,57           | 3,17 | stabil     |                            |                          | x                |
| Muskotály     | 1/13      | 107       | 2,50           | 3,17 | instabil   |                            | x                        |                  |
| Olasz rizling | H8        | 88        | 1,72           | 3,39 | instabil   |                            | x                        |                  |
| Zeusz         | ER1       | 93        | 2,89           | 2,87 | stabil     |                            |                          | x                |
| Hárslevelű    | ER3       | 79        | 1,73           | 3,23 | stabil     | x                          |                          |                  |
| Olasz rizling | Ü5        | 58        | 1,41           | 3,29 | stabil     | x                          |                          |                  |

A három különböző csoport eredményeit rögtön összehasonlítottam az első kiértékelésem eredményeivel. Két összefüggést sikerült találnom a két módszer eredményei között.

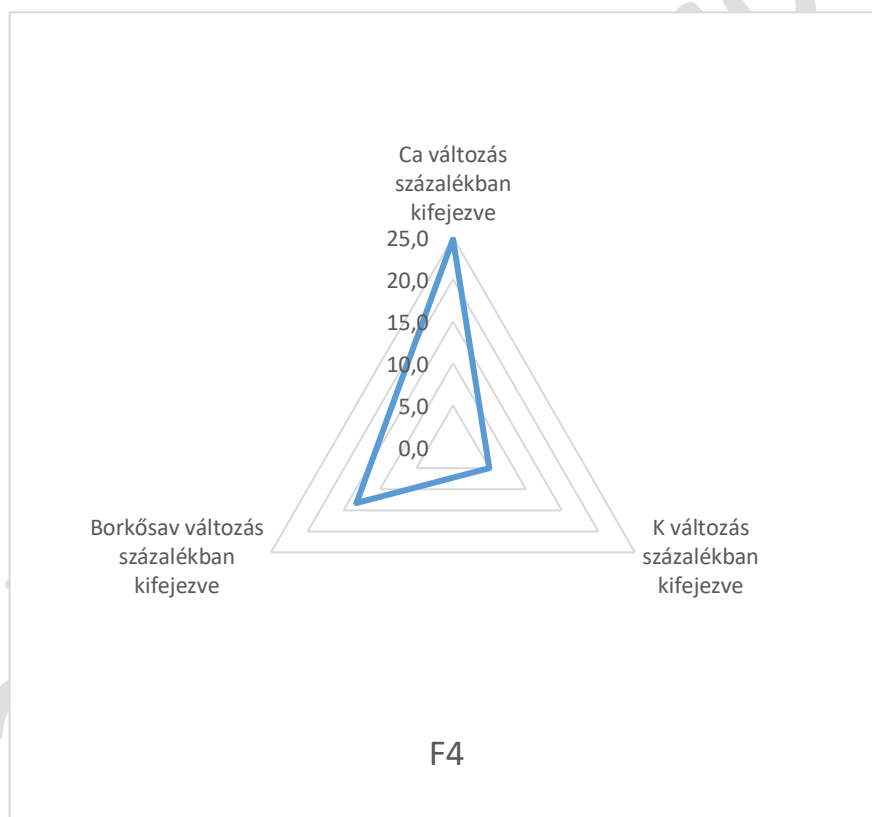
1. Abban az esetben, ha a szemrevételezésnél opálos, alul leülepedett csapadékkal figyeltem meg a bormintát, akkor az első kiértékelésemben is mindig az instabil volt a helytálló.
2. Amennyiben a bor alján csapadék volt megfigyelhető és a bor aljára a csapadék leült, abban az esetben a számításom alapján a bor stabilnak tűnt.

### 5.3. Hidegstabilitás vizsgálata kontaktáló anyag segítségével

A Ca tartalom és a K tartalom mérésekor a megengedett hibahatár mindkét mérés esetén:  $\pm 5\%$ .

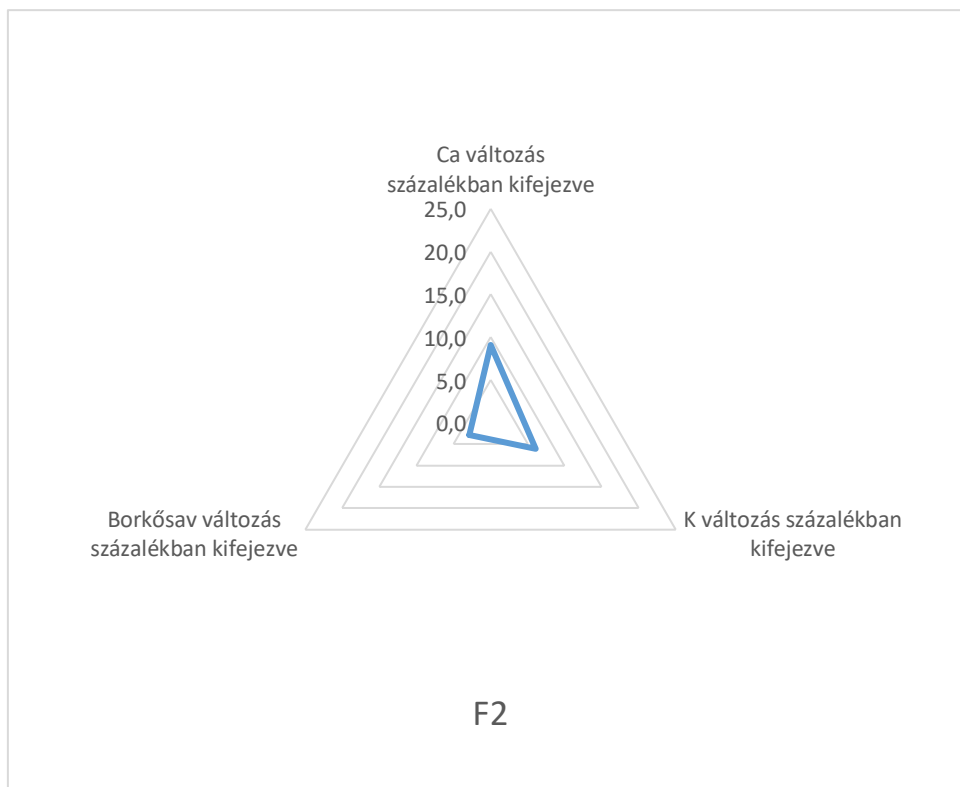
Az **1. melléklet 9.táblázatában** jól láthatjuk az eredeti borminták kezelés előtti mérési eredményeit és a kezelés utáni mérési eredményeit. A kálium tartalom változásának kiértékelésekor láthatjuk, hogy több esetben is negatív előjel jelent meg. Ezen esetekben minden bizonnyal kálium-bitartarát beoldódás történt. Ez annak az eredménye, hogy  $-2^{\circ}\text{C}$ -on a kevertetés közben az oldat még tudott beoldani a hozzáadagolt kontaktáló anyagból KHT-t, mert az oldat nem volt telített ezen a hőmérsékleten. A borkősav és a pH értékek emelkedését is a kálium-hidrogéntartarát beoldódása váltotta ki.

Azért, hogy a különbségek jól láthatóak legyenek a kísérlet során, a változás mértékét diagramon ábrázoltam boronként (**25. és 26. ábra**).



**25. ábra:** F4-es minta Ca, K és borkősav tartalmának változása százalékban megadva





**26. ábra:** F2-es minta Ca, K és borkősav tartalmának változása százalékban megadva

A diagramon történő változások megtekintése után egy táblázatot készítettem (**7. táblázat**), amelyben az első kiértékelésem szerint kapott eredményeket hasonlítottam össze az általam javasolt „Új” stabilitási vizsgálat eredményeivel.

**7. táblázat:** Az 1 kiértékelés és a 3 kiértékelés eredményeinek összehasonlítása (2023)

| Dátum      | Minta            | Azonosító | CaT stabilitás<br>változás alapján | Oldhatóság<br>alapján |
|------------|------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------|
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | F4        | instabil                           | instabil              |
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | R21       | instabil                           | instabil              |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | F2        | stabil                             | stabil                |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | Ü4        | instabil                           | stabil                |
| 2023.05.02 | Chardonnay+KA    | 4         | stabil                             | stabil                |
| 2023.05.02 | Muskotály+KA     | 1/13      | instabil                           | instabil              |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | H8        | stabil                             | instabil              |
| 2023.05.02 | Zeusz+KA         | ER1       | stabil                             | stabil                |
| 2023.05.02 | Hárslevelű+KA    | ER3       | stabil                             | stabil                |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | Ü5        | stabil                             | stabil                |

Oldhatóság alapján: ebben az oszlopban az első kiértékelésben kapott eredményeket használtam fel az összehasonlításhoz.

CaT stabilitás változás alapján (általam javasolt új módszer): Hasonló kísérleteket már a Varga Pincészet laborjában évek óta végzünk. A rendelkezésre álló adathalmazból azt állapítottuk meg, hogy abban az esetben, amikor a kontaktáló anyag hatására a Ca vagy a K változás mértéke nem haladja meg a 10%-ot, a bor stabilnak tekinthető.

A kísérletem kiértékelésekor is eszerint az elv szerint jártam el. Tehát azokat a borokat tekintettem stabilnak, amelyekre igaz volt, hogy a Ca szintjük 10%-nál nem nagyobb mértékben változott a kontaktáló anyagos kezelés hatására.

Jól látható, hogy a száraz borokat vizsgálva egy magasabb, 90 mg/l Ca tartalom instabilitást okozhat, azonban egy természetes maradékcukor-tartalmú bornál, vagy egy utólag édesített bor esetében sem okoz ez az érték problémát. Szintén megfigyelhető, hogy a Ca és a K tartalom csak abban az esetben csökkent, amikor a borkősav koncentrációja is csökkent. Ez egyértelmű, mivel a kálium és a kalcium kiválás kalcium-tartarát és kálium-hidrogén-tartarát formában történt meg. Tehát a borkősav sók formájában vegyületet képzett a  $K^+$  és a  $Ca^{++}$  ionokkal.

Jól látható, hogy a kísérleti tételek között több alkalommal is előfordult, hogy nem történt a kalcium és a kálium szintekben jelentős változás, azaz ezek a borok stabilnak számítanak.

Természetesen az előző módszer a CaT stabilitás vizsgálatához hasonlóan KHT stabilitás vizsgálatra is használható (8. táblázat).

**8. táblázat:** KHT stabilitásának vizsgálata (2023)

| Dátum      | Minta            | Azonosító | CaT stabilitás<br>Változás alapján | KHT<br>stabilitás<br>Változás<br>alapján |
|------------|------------------|-----------|------------------------------------|--|
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | F4        | instabil                           | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | R21       | instabil                           | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | F2        | stabil                             | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | Ü4        | instabil                           | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Chardonnay+KA    | 4         | stabil                             | instabil                                 |
| 2023.05.02 | Muskotály+KA     | 1/13      | instabil                           | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | H8        | stabil                             | instabil                                 |
| 2023.05.02 | Zeusz+KA         | ER1       | stabil                             | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Hárslevelű+KA    | ER3       | stabil                             | stabil                                   |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | Ü5        | stabil                             | stabil                                   |

KHT kristálykiválás szempontjából akkor tekintettük stabilnak a kísérletben szereplő borokat, ha a kontaktáló anyag hatására az eredeti K szinthez képest 10%-nál nagyobb mértékű K mennyiség-csökkenés nem történt mg/l-ben.

Érdekes a pH értékek és a borkősavtartalmak változását is alaposabban megvizsgálunk az **1. számú melléklet 9. táblázata** alapján. Láthatjuk, hogy azon esetekben, mikor a pH érték is nagyobb mértékben csökkent (például 0,04), akkor a borok általában nem voltak stabilnak tekinthetőek a kezelés előtt.

Viszont, mikor emelkedő pH értékeket figyelhettünk meg a kontaktáló anyaggal történő kezelés után, minden esetben a KHT beoldódását jelezte számunkra. Ezeket a jelenségeket a borkősavtartalom változásával kapcsolatban is megfigyelhettük.

Az összes adat kiértékelése közben a termőterülettel való összefüggés tekintetében szignifikáns különbséget egy esetben sem vettem észre. Ezért kijelenthetjük, hogy a kísérlet adatai alapján nem találtunk jelentős eltérést a Ca, K, borkősav és pH-értékekben a különböző termőterületről származó borok esetében.

## 6. Összegzés

A célkitűzésben elsődleges célul azt jelöltem meg, hogy szeretnék egy új technológiát bemutatni a borok hidegstabilitási vizsgálatainak elvégzéséhez. A dolgozat megírása közben végig szerettem volna egy olyan újítást leírni, amely garantálja minden borkészítő számára, hogy ha ezt a technológiát alkalmazza, akkor nem érhetik meglepetések a borok hidegstabilitásával kapcsolatban. Be kellett látnom, hogy a bor egy rendkívül komplex rendszer, amelyet hidegstabilitás szempontjából százszázalékos biztonsággal meghatározni nem tudunk. Az általam bemutatott módszerek is csak becslés pontossággal képesek a bor stabilitását megítélni. A borkészítés során nem vagyok híve olyan anyagok adagolásának, amelyek természetesen úton nem találhatóak meg a borban. Ezen felül úgy gondolom, hogy a metaborkősav és a CMC adagolása sok esetben csak hamis biztonságérzetet ad a kristálykiválások elkerülésével szemben. Szerettem volna egy olyan technológiát, ami egyszerre nagy méretekben - és piciben is reprodukálható. Természetesen az előző fejezetekben kicsiben elvégzett kísérlet nagy volumenben is reprodukálható. Tehát azon boroknál, amelyeknél a kísérleti eredmények azt mutatták, hogy nem megfelelő a hidegstabilitásuk, a teljes mennyiségen is el kell végezni a hidegkezelést. Ha megfelelő eredményeket szeretnénk elérni, akkor több eljárás közül is választhatunk. Ami biztos, hogy elengedhetetlen a kalcium szintek csökkentése, a kálium szintek csökkentése mellett. Ahogyan azt már korábban is említettem, nem tekinthetünk el attól a tényről sem, hogy az utóbbi időszakban Európa-szerte megfigyelhető, hogy a kálium, de főképp a kalcium koncentrációk egyre nagyobb értékeket mutatnak a szőlőből préselt mustokban. A klímaváltozás szélsőséges időjárási viszonyosságai a 2022-es évjáratban is megfigyelhetőek voltak. A szőlőnövény jó alkalmazkodó képessége ellenére a szélsőséges időjárási körülmények hatására az egyes fenológiai fázisok időtartama lerövidülhet (Jones, 2007). Ezért a zsendülés és termésérés hamarabb, magasabb hőmérsékleten játszódik le. (Keller, 2010.) A cukortartalom emelkedik, ezáltal a bor alkoholtartalma is növekedni fog. A klímaváltozás hatására a szőlőnövényt a vegetációs időszak alatt egyre több olyan stresszhatás éri, mint az UV-B sugárzás mértékének emelkedése (Shultz, 2000) a tápanyagellátottsági problémák és a szárazságstressz. Ezen hatások együttesen hozzájárulnak ahhoz, hogy évről évre a mustok kálium és kalcium tartalma növekedő tendenciát mutat. (Bene, 2022) A szüreti időpontok is korábbra tolódtak, viszont a mustok pH-értéke a megfelelő mustfok elérésekor már magasabb, mint 15-20 évvel ezelőtt. A kísérletben jól láthattuk, hogy a legtöbb tételnél, ahol nem volt megfelelő a káliumtartalom a kiválások elkerüléséhez, ott a kalciumtartalom is túl magasnak bizonyult. Fontos megjegyezni még azt a tényről, hogy a kísérletem elvégzéséhez felhasznált borok a 2022-es évet követően a téli időszakban külső tartályokban voltak tárolva, ahol spontán KHT kiválás minden bizonnyal bekövetkezett náluk. Azonban a kiértékelésekből megfigyelhető, hogy több esetben ez a spontán kristályképződés nem biztosította a későbbiekben a KHT kristály kiválás elkerülését. Úgy gondolom, hogy napjainkban a borászok figyelmét fel kell hívnunk arra a tényre, hogy nem elég már a borok hidegkezelése bármilyen kontaktáló anyag hozzáadása nélkül, mert szükséges a kalcium szintek csökkentése is a megfelelő stabilitás eléréséhez. Igaz, ami miatt a CaT kiválás sok esetben feledésbe merül, az az a tényező, hogy a hideg hatására nem történik a legtöbb esetben spontán kristálykiválás, hanem akár egy év is eltelhet kiválás előfordulása nélkül. A dolgozatomban több alkalommal is kitértem a kolloid kristálykiválást megelőző hatásaira. A kísérlet a védőkolloid hatását is figyelembe veszi a jelenlegi időpontban,

azonban a jövő változásait nem tudja előre modellezni. Ezért az általam javasolt technológiát elsősorban fehér- és rozéborok hidegstabilitási vizsgálataira ajánlanám. Elmondható, hogy fehérboroknál a szőlőből kinyerhető összes kolloid körülbelül 15%-át sikerül kinyernünk, azonban vörösboroknál körülbelül 30%-át is sok esetben. Ezen felül a vörösborok fenoltartalma magasabb, mint a fehérboroké, és kondenzált tanninjaik erős védőkolloid hatással bírnak. (Prof. Kállay, 2010) Tehát, a vörösboroknál a védőkolloid hatása a hidegstabilitásra sokkal nagyobb mértékű, mint fehérboroknál, ezért, ha a kolloid szerkezetben változás következik be, akkor az könnyen lehet, hogy a hideg stabilitás elvesztését fogja jelenteni. Ilyen lehet vörösboroknál például az oxidáció miatt bekövetkező színikiválás is. Azonban elgondolkodtató, hogy ha ez megtörténik, onnantól fogva valószínűleg a bor élvezeti értéke is változik.

Véleményem szerint az általam bemutatott technológia a hidegstabilitás előrejelzésére egy jó biztonsággal alkalmazható eljárás. Előnyei közé tartozik, hogy egy kísérlettel meg tudjuk állapítani azt, hogy stabil-e a borunk, és ha nem, milyen mértékben nem stabil és a kezelés alatt CaT, KHT, vagy esetleg mindkét só ki fog-e csapódni. Az előrejelzés módszere mellett még a technológiai ajánlás során egy komplett technológiai javaslatot is tettem annak érdekében, hogy ha valaki nem szeretne aggódni a bor stabilitása miatt, akkor mely egyszerű eljárással tudja garantálni, hogy azok megfelelőek legyenek. Előnye továbbá, hogy azon boroknál, ahol a védőkolloid nagyobb mértékben befolyásolja a stabilitást, amellyel az oldhatósági szorzat alapján történő értékelés nem tud számolni, ezt is figyelembe veszi. Olyan esetekre gondolok, ahol a borok hidegkezelése a védőkolloid miatt nem indokolt, és felesleges is lenne, mivel nagy valószínűséggel a borok minőségi romlását idézné elő.

A javasolt vizsgálati technológia hátránya közé tartozik a hosszú kísérleti idő. Az általam javasolt és bemutatott kontaktáló anyagok kísérlet elvégzéséhez szükséges idő legalább 48 óra. Ha ezt követően bizonyosodik be egy borról, hogy nem stabil, akkor a nagy volumenben történő hidegkezelés kontaktáló anyag hozzáadásával is legalább plusz 72 órát jelent. Vagyis, ha valaki ezzel a módszerrel szeretne dolgozni, akkor mindenképpen érdemes egy jól beütemezett tervezést elvégezni, ahol pontosan meghatározzuk, hogy az adott tételket mikor szeretnénk forgalomba hozni, mert legalább egy hét szükséges a teljes technológia (labor kísérlet + nagy volumen kezelése) lefolytatásához. Sajnos a saját megfigyeléseim alapján elmondható, hogy a legtöbb esetben száraz boroknál, ahol nem történik finomseprőn- vagy több évig fahordóban történő érlelés, ott biztosan el kell végezni a teljes technológiát, különben nem lesz hidegstabil a borunk.

A technológiai ajánlás szempontjából fontosnak tartom még kiemelni, hogy a kísérlet során lejegyzett lépések pontos betartása hozhat csak megfelelő eredményt, és a felhasznált segédanyag minősége is rendkívül fontos, mert a megfelelő kristályképződés alapfeltételei a megfelelően túltelített oldat és a megfelelő szilárd/folyadék kristályfelület. Nagy volumenű hidegkezelés esetén a kristályképző kontaktáló anyag többször is felhasználható. Általában három kezelés gond nélkül elvégezhető 250 gramm/hl adagolási dózis mellett. Azaz három különböző bor kezelése elvégezhető ugyanazzal az anyaggal egymás után, csak arra kell odafigyelni, hogy szín beoldódás ne fordulhasson elő. Hiszen rozé borok kezelésekor mindig történik némi színikiválás a kristályképződéssel, amely esetlegesen fehérborokba beoldódhatna. Ezen felül érdemes mindig száraz borokat kezelni először és csak később az édes borokat, hogy a bor cukortartalmának emelkedését kizárhassuk. Sajnos a kontaktáló anyag végtelenszer nem felhasználható, mert a mikro- és makrokristályok egy idő után olyan mérettartományba lépnek, ahol nem

fognak már kedvezni a kristálygócok képződésének, ezért hatékonyságcsökkenés várható. Minden esetben érdemes a kezelés elvégzését újabb méréssel visszaellenőrizni, hogy biztosak lehessünk a technológia sikerességében.

Az elvégzett kísérletet érdemes lenne a jövőben nagyobb mintamennyiséggel több termőterületről és vörösborok bevonásával megismételni. Több adat felhasználásával az általam javasolt eljárás hatékonyságát alaposabban meg tudnám vizsgálni, és ezzel még inkább tudnék a borkészítő szakembereknek egy megfelelő technológiai ajánlást javasolni boraik hidegstabilitásának vizsgálatára és kezelésére.

Takács György

## 7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Szövényi Áronnak, hogy munkám során rengeteg ötlettel és szakmai tudásával segítette munkámat, sokszor szabadidejének terhére is.

Köszönöm Dr. Molnár Zoltánnak, hogy a diplomadolgozatomhoz szükséges kísérlet elvégzésében szakmailag támogatott, segített és több éves szakmai tapasztalatával és mérési eredményeivel is segítette munkám előrehaladását.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a családom támogatását és türelmét. Kiváltképp szeretném megköszönni feleségemnek, Takács-Fehér Alexandrának, akinek biztatása nélkül nem jöhetett volna létre ez a dolgozat.

Takács György

## 8. Irodalomjegyzék

- Abguéguen, O., & Boulton, R. B. (1983.). The crystallization kinetics of calcium tartrate from model solutions and wines. *American journal of enology and viticulture*, 44.(1.), old.: 65-75.
- Audinos, R. (1983). *Les Membranes Artificielles, Collection Que sais-je*. Presses Universitaires, Párizs.
- Baldwin, G. (1992). Practical aspects of cold stabilisation. *Grapegrower & Winemaker*(345), old.: 8-9.
- Bene, Z. (2022). Mikrobiológiai stabilizálási lehetőségek stresszhelyzetet szenvedett alapanyagok esetében. *Szőlő-levél*, old.: 1-8.
- Celorrío, R., García, J., Martínez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (2017). Methodology for the reduction of energy demand during cold stabilisation in the wine industry. *Energy and Building*(142.), old.: 31-38.
- Chardonnet, C., & Donéche, B. (1995). Relation entre la teneur en calcium et la résistance á la digestion enzymatique du tissu pelliculaire au cours de la maturation du raisin. *Vitis*(34.), old.: 95-98.
- Csikász-Krízics, A., & Diófási, L. (2008). Effects of rootstock-scion combinations on macroelements availability of the vines. *Journal of Central European Agriculture*(9), old.: 495-504.
- Csilla, F. (2016. december 21.). *Miért számít a bor pH értéke?* Letöltés dátuma: 2023.. április 23., forrás: Vinoport.hu: Bormagazin igényesen: <https://vinoport.hu/tema/miert-szomit-a-bor-ph-erteke/3314>
- Devatine, A., Gerbaud, V., Gabas, N., & Blouin, J. (2002. június 30). Prediction and mastering of wine acidity and tartaric precipitations: the Mextar software tool. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 36(2), old.: 77-91.
- Donéche, B., & Cabanne, C. (2003). Calcium accumulation and redistribution during the development of grape berry. *Vitis*(42), old.: 19-21.
- Ewart, A. (1984). A study of cold stability of Australian white table wines. *Grapegrower Winemaker*(244), old.: 404-107.
- Fischer, R. (1971). Role of potassium in stomatal opening in the leaf of *Vicia faba*. *Plant Physiol*(47), old.: 555-558.
- Gaillard, M., Ratsimba, B., & Favarel, J. L. (1990). Stabilité tartrique des vins: comparaison de différents tests, mesure de l'influence des polyphénols. *Revue française d'oenologie*, 30(123), old.: 7-13.
- Irina, B. (2014). *Technológiai műveletek hatásai az Egri Bikavér élettanilag aktív vegyületeinek összetételére és érzékszervi tulajdonságaira*. Kertészettudományi Kar Szőlészeti és Borászati Intézet Borászati Tanszék. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem.
- Jones, G. (2007). *Climate Change: Observations, Projections, and General Implications for Viticulture and Wine Production*. Southern Oregon University, Department of Geography.
- Keller, M. (2010.). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Austr. J. of Grape and Wine Research*, old.: 56-69.
- Low, L. (2007). *Evaluation of Tartrate Stabilisation Technologies For Wine Industry*. The University of Adelaide, Australia, School of Chemical Engineering Faculty of Engineering, Computer and Mathematical Science.
- Maujean, A., Vallee, D., & Sausy, L. (1986). Influence de la granulometrie des cristaux tartre de contact et des traitements et collages sur la cinétique de cristallisation du bitartrate de potassium dans les vins blancs. *Revue française d'oenologie*(104), old: 34-41.



- Mengel, K., & Viro, M. (1974.). The effect of potassium supply on the transport of photosynthates to the fruits of tomatoes /*Lycopersicon esculentum*/. *Physiologia Plantarum*(30), old.: 295-300.
- Miklós, E. (1986). *A szőlő kálium transzportja*. MTA Szegedi Biológiai Központ, Biofizikai Intézet, Szeged.
- Nistor, E., Dobrei, A. G., Matii, G. B., & Dobrei, A. (2022. Június). *Calcium and Pottasium Accumulation during the Growing Season Cabernet Sauvignon and Merlot Grape Varieties*. Letöltés dátuma: 2023.. április 23., forrás: PubMed Central: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9229687/>
- Postel, W. (1983). La solubilité et la cinétique de cristallisation du tartrate de calcium dans le vin. *Bull. OIV*, 56(554), old.: 629-630.
- Prof. Kállay, M. (2010). *Borászati kémia*. Mezőgazda Kiadó.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean A., & Dubourdiou, D. (2006). *Handbook of Enology Volume 2 The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*. Anglia: John Wiley @ Sons, Ltd.
- Schaller, K., Löhnertz, O., & Chikkasubbanna, V. (1992.). Calcium absorption by the grape berries of different cultivars during growth and development. *Wein-wiss*(47.), old.: 62-65.
- Shultz, H. (2000). Climate Change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Austr. J. of Grape and Wine Research*(6.), old.: 2-12.
- Szövényi, Á., & Könitz, R. (2009.). Borkő stabilizálás karboximetil-cellulózzal. *Bor és Piac: Borpiaci Szakmai Magazin*(11-12.),old.: 14-15.
- White, P. J. (2001). The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany*(52), old.: 891-899.
- Wurdig, G., Muller, T., & Friedrich, G. (1982). Methode pour caracteriser la stabilete vin vis-a-vis du tartre par determination de la temperature de saturation. *Bull. OIV*, 55(613), old.: 220-229.
- Zoecklein, B. (1988). *A review of Pottasium bitartrate stabilization of wines*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Department of Horticulture.
- Zoecklein, B. (1988). *Bentonite fining of juice and wine*. Virginia Polytechnic Institute & State University, Department of Horticulture.

## 9. Ábrajegyzék

|   |    |
|---|----|
| 1. ábra: L(+)-borkősav, D(-)-borkősav és optikailag inaktív borkősav szerkezeti képlete .....   | 10 |
| 2. ábra: A kalium-hidrogént-tartarát és a kalcium tartarát szerkezeti képlete .....   | 13 |
| 3. ábra: A pH és a pK érték összefüggése (Prof. Kállay, 2010).....  | 14 |
| 4. ábra: A borkősav disszociációs viszonyai a borban (H2T: borkősav; HT-: bitartarát-anion; T2-: tartarát-anion) (Prof. Kállay, 2010) ..... | 15 |
| 5. ábra: Egyensúlyi állandó kiszámításának módszere.....  | 16 |
| 6. ábra: Az oldhatósági szorzat kiszámításának módszeres (PS) (Prof. Kállay, 2010) .....  | 16 |
| 7. ábra: A borkő (KHT) oldhatósága vizes-alkoholos közegben -4°C-on (Prof. Kállay, 2010).....   | 17 |
| 8. ábra: PS értékek kiszámításának módszere változása alkoholtartalom mellett .....   | 17 |
| 9. ábra: A ionerősség és a só kicsapódásának egyensúlyi viszonyait leíró egyenlet .....   | 18 |
| 10. ábra: Az ionerősség számításának egyenlete (Prof. Kállay, 2010) .....   | 18 |
| 11. ábra: A borkő (KHT) különböző állapotai hűtéssel stabilizált borban (Prof. Kállay, 2010) .....  | 19 |
| 12. ábra: A vizsgálat során megfigyelt mintázatok .....   | 22 |
| 13. ábra: TSat értékének meghatározása 20°C-on.....   | 23 |
| 14. ábra: TSat értékének meghatározása 30°C-on.....   | 23 |
| 15. ábra: A túltelítettség mértékének ábrázolása grafikonon (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006) .....                 | 24 |
| 16. ábra: Folyamatos KHT stabilizáló berendezés vázlati rajza (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean A., & Dubourdieu, 2006) .....               | 27 |
| 17. ábra: A stabilitási vizsgálat mintái a kísérlet kezdetén .....  | 34 |
| 18. ábra: A 200 ml mennyiségű minták kiöntése zárható laborüvegbe .....   | 36 |
| 19. ábra: A minták folyamatos keverése és hűtése még kontaktáló anyag nélkül .....  | 37 |
| 20. ábra: Egy mintához szükséges kontaktáló anyag .....   | 37 |
| 21. ábra: A minták már bekeverve kontaktáló anyaggal.....   | 38 |
| 22. ábra: Számított oldhatósági szorzatok (PC értékek) .....  | 44 |
| 23. ábra: A kalcium-tartarát stabilitását kijelölő diagram .....  | 45 |
| 24. ábra: A folyamatos keverés után megállított, egy óra ülepedési idő utáni a minták .....   | 46 |
| 25. ábra: F4-es minta Ca, K és borkősav tartalmának változása százalékban megadva .....   | 48 |
| 26. ábra: F2-es minta Ca, K és borkősav tartalmának változása százalékban megadva .....   | 49 |

## 10. Táblázatjegyzék

|   |    |
|---|----|
| 1. táblázat: Különböző savak pK- értékei és állapotuk a borban (Prof. Kállay, 2010).....                  | 14 |
| 2. táblázat: Borkősav pK értékének változás eltérő alkoholtartalom mellett. (Prof. Kállay, 2010).....     | 16 |
| 3. táblázat: A kálium-hidrogén-tartarát és a kalcium-tartarát kiválását befolyásoló tényezők (2023) ..... | 33 |
| 4. táblázat: A kísérletben szereplő minták száma, azonosítója, típusa és termőterülete .....              | 35 |
| 5. táblázat: Az oldhatósági szorzat számításának módja és kiértékelése (2023) .....                       | 43 |
| 6. táblázat: A szemrevételezést követően megfigyelt tulajdonságok (2023).....                             | 47 |
| 7. táblázat: Az 1 kiértékelés és a 3 kiértékelés eredményeinek összehasonlítása (2023) .....              | 49 |
| 8. táblázat: KHT stabilitásának vizsgálata (2023) .....   | 51 |
| 9. táblázat: A kísérlet eredményeinek összegzése (2023) .....   | 60 |
| 10. táblázat: Mérési eredményeket összefoglaló táblázat (2023) .....                                      | 61 |

Takács György

## 11. Mellékletek

9. táblázat: A kísérlet eredményeinek összegzése (2023)

| Dátum      | Minta         | Azonosító | Ca (mg/l) | K (mg/l) | Borkősav (g/l) | pH   | stabilitás | Leülepedett, alul csapadék | Opálos, alul csapadékkal | Teljesen zavaros |
|------------|---------------|-----------|-----------|----------|----------------|------|------------|----------------------------|--------------------------|------------------|
| 2023.04.27 | Irsai olivér  | F4        | 105       | 601      | 3,02           | 3,07 | instabil   |                            | x                        |                  |
| 2023.04.27 | Irsai olivér  | R21       | 109       | 524      | 3,09           | 3,02 | instabil   |                            |                          | x                |
| 2023.04.27 | Szürkebarát   | F2        | 110       | 607      | 2,80           | 3,05 | stabil     | x                          |                          |                  |
| 2023.04.27 | Szürkebarát   | Ü4        | 120       | 472      | 2,09           | 3,03 | stabil     |                            |                          | x                |
| 2023.04.27 | Chardonnay    | 4         | 59        | 579      | 1,57           | 3,17 | stabil     |                            |                          | x                |
| 2023.04.27 | Muskotály     | 1/13      | 107       | 669      | 2,50           | 3,17 | instabil   |                            | x                        |                  |
| 2023.04.27 | Olasz rizling | H8        | 88        | 1107     | 1,72           | 3,39 | instabil   |                            | x                        |                  |
| 2023.04.27 | Zeusz         | ER1       | 93        | 341      | 2,89           | 2,87 | stabil     |                            |                          | x                |
| 2023.04.27 | Hárslevelű    | ER3       | 79        | 823      | 1,73           | 3,23 | stabil     | x                          |                          |                  |
| 2023.04.27 | Olasz rizling | Ü5        | 58        | 633      | 1,41           | 3,29 | stabil     | x                          |                          |                  |

### Kontaktáló anyag adagolása utáni mérési eredmények

| Dátum      | Minta            | Azonosító | Ca (mg/l) | K (mg/l) | Ca változás (mg/l) | K változás (mg/l) | Borkősav változás (g/l) | pH-érték változás | CaT Stabilitás változás alapján | Oldhatóság alapján |
|------------|------------------|-----------|-----------|----------|--------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | F4        | 79        | 571      | 26                 | 30                | 0,40                    | 0,04              | instabil                        | instabil           |
| 2023.05.02 | Irsai olivér+KA  | R21       | 67        | 529      | 42                 | -5                | 0,23                    | 0,04              | instabil                        | instabil           |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | F2        | 100       | 570      | 10                 | 37                | 0,08                    | 0,01              | stabil                          | stabil             |
| 2023.05.02 | Szürkebarát+KA   | Ü4        | 92        | 486      | 28                 | -14               | -0,14                   | -0,02             | instabil                        | stabil             |
| 2023.05.02 | Chardonnay+KA    | 4         | 55        | 518      | 4                  | 61                | -0,04                   | -0,01             | stabil                          | stabil             |
| 2023.05.02 | Muskotály+KA     | 1/13      | 67        | 658      | 40                 | 11                | 0,22                    | 0,04              | instabil                        | instabil           |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | H8        | 83        | 989      | 5                  | 118               | 0,19                    | 0,02              | stabil                          | instabil           |
| 2023.05.02 | Zeusz+KA         | ER1       | 88        | 434      | 5                  | -93               | -0,14                   | -0,01             | stabil                          | stabil             |
| 2023.05.02 | Hárslevelű+KA    | ER3       | 72        | 851      | 7                  | -28               | -0,04                   | 0,02              | stabil                          | stabil             |
| 2023.05.02 | Olasz rizling+KA | Ü5        | 56        | 672      | 2                  | -39               | -0,55                   | -0,02             | stabil                          | stabil             |

10. táblázat: Mérési eredményeket összefoglaló táblázat (2023)

| Dátum   | Minta            | Azonosító | Ca (mg/l) | K (mg/l) | Borkósav (g/l) | pH   |
|---|------------------|-----------|-----------|----------|----------------|------|
| 2023.04.27  | Irsai olivér     | F4        | 105       | 601      | 3,02           | 3,07 |
| 2023.04.27  | Irsai olivér     | R21       | 109       | 524      | 3,09           | 3,02 |
| 2023.04.27  | Szürkebarát      | F2        | 110       | 607      | 2,80           | 3,05 |
| 2023.04.27  | Szürkebarát      | Ü4        | 120       | 472      | 2,09           | 3,03 |
| 2023.04.27  | Chardonnay       | 4         | 59        | 579      | 1,57           | 3,17 |
| 2023.04.27  | Muskotály        | 1/13      | 107       | 669      | 2,50           | 3,17 |
| 2023.04.27  | Olasz rizling    | H8        | 88        | 1107     | 1,72           | 3,39 |
| 2023.04.27  | Zeusz            | ER1       | 93        | 341      | 2,89           | 2,87 |
| 2023.04.27  | Hárslevelű       | ER3       | 79        | 823      | 1,73           | 3,23 |
| 2023.04.27  | Olasz rizling    | Ü5        | 58        | 633      | 1,41           | 3,29 |
| <b>Kontaktáló anyag adagolása utáni mérési eredmények</b> |                  |           |           |          |                |      |
| Dátum   | Minta            | Azonosító | Ca (mg/l) | K (mg/l) | Borkósav (g/l) | pH   |
| 2023.05.02  | Irsai olivér+KA  | F4        | 79        | 571      | 2,62           | 3,03 |
| 2023.05.02  | Irsai olivér+KA  | R21       | 67        | 529      | 2,86           | 2,98 |
| 2023.05.02  | Szürkebarát+KA   | F2        | 100       | 570      | 2,72           | 3,04 |
| 2023.05.02  | Szürkebarát+KA   | Ü4        | 92        | 486      | 2,23           | 3,05 |
| 2023.05.02  | Chardonnay+KA    | 4         | 55        | 518      | 1,61           | 3,18 |
| 2023.05.02  | Muskotály+KA     | 1/13      | 67        | 658      | 2,28           | 3,13 |
| 2023.05.02  | Olasz rizling+KA | H8        | 83        | 989      | 1,53           | 3,37 |
| 2023.05.02  | Zeusz+KA         | ER1       | 88        | 434      | 3,03           | 2,88 |
| 2023.05.02  | Hárslevelű+KA    | ER3       | 72        | 851      | 1,77           | 3,21 |
| 2023.05.02  | Olasz rizling+KA | Ü5        | 56        | 672      | 1,96           | 3,31 |

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat, diplomamunka eredetiségéről és nyilvános vagy korlátozott hozzáféréséről

A szerző neve: Takács György

A dolgozat címe: Borok hideg stabilitásának vizsgálati lehetőségei és stabilizálásának módszerei

A megjelenés éve: 2023

A tanszék neve: Borászati Tanszék

Kijelentem, benyújtott diplomamunkám egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi termékem. Tudomásul veszem, hogy a Budai Campus Tanulmányi Osztályon határidőben történő bemutatás nem jelenti dolgozatom szakmai és tartalmi elfogadását.

Kérem, válasszon az alábbi lehetőségek közül:

- Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a MATE Entz Ferenc Könyvtár és Levéltár szakdolgozat archívumába. A teljes szöveg kizárólag a Budai Campus számítógépeiről tekinthető meg.  
A vízjellel ellátott pdf dokumentum szerkesztését nem, megtekintését engedélyezem. Tudomásul veszem, hogy a vízjel nélkül leadott dokumentum szerzői jogai sérülhetnek.
- Dolgozatom titkosított. A titkosítás lejáratainak dátuma: ..... év .....hó .....nap.  
Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a MATE Entz Ferenc Könyvtár és Levéltár szakdolgozat archívumába. A vízjellel ellátott pdf dokumentum szerkesztését nem, megtekintését a titkosítás határidejének lejártaát követően engedélyezem. A teljes szöveg kizárólag a Budai Campus számítógépeiről tekinthető meg.

Tudomásul veszem, hogy a vízjel nélkül leadott dokumentum szerzői jogai sérülhetnek

Budapest, 2023.05.02.

.....  
szerző aláírása

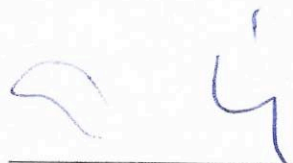
## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Takács György (hallgató Neptun azonosítója: Q1XBD1) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem**

Kelt: Budapest, 2023.05.08.



Belső konzulens