

SZAKDOLGOZAT

Almássy Gábor

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai intézet

Élelmiszermérnök alapképzési szak

**MIKROÜLTETVÉNYEN TERMESZTETT
KOMLÓTOBOZOK KESERŰSAV-TARTALMÁNAK
MEGHATÁROZÁSA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK
SAJÁTOSSÁGAI**

Belső konzulens: Dr. Kun-Farkas Gabriella,
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet,
Biomérnök és Értékesítési
Technológia Tanszék

Külső konzulens: -

Készítette: Almássy Gábor

Budapest

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A komló	5
2.1.1. A növény	5
2.1.2. Történelem	6
2.1.3. A komló söriparilag értékes komponensei	6
2.2. Keserűsavak kémiai szerkezete és változásai	8
2.2.1. Keserűsavak	8
2.2.2. Izomerizáció	9
2.2.3. Komlóforralás.....	10
2.3. Komló keserűsavak vizsgálatai	12
2.3.1. Tárolási hőmérséklet hatása bálázott komló alfa-sav stabilitására.....	12
2.3.2. Tárolási hőmérséklet hatása komlópellet kémiai összetételére	15
2.3.3. Összehasonlítás	16
2.4. Komló szüretelésének, szárításának, pelletizálásának folyamata.....	18
2.4.1. Szüret.....	18
2.4.2. Szárítás	19
2.4.3. Pelletizáció	20
2.5. Leveles komlók mai alkalmazása a hazai söriparban	21
3. Alkalmazott módszerek.....	22
3.1. Anyagok.....	22
3.2. Módszerek	22
3.2.1. Mintaelőkészítés.....	22
3.2.2. Forralási kísérlet.....	23
3.2.3. Nedvességtartalom meghatározása.....	24

3.2.4. Leveles komló alfa-sav tartalmának meghatározása (ASBC Hops-6)	24
3.2.5. Komlózott sörle keserűértékének meghatározása (EBC 8.8).....	26
3.2.6. Sörle extrakttartalom meghatározás	27
3.2.7. Sörle pH mérés	27
4. Eredmények és értékelésük	28
4.1. Leveles komlók őrlésének hatása alfa-sav tartalomra	28
4.1.1. 2021-es minták vizsgálata őrlés nélkül	28
4.1.2. Korrekció 10%-os nedvességtartalomra.....	29
4.1.3. Kísérlet ismétlése őrlés alkalmazásával	31
4.2. Leveles komlók őrlésének hatása a forralási hasznosulásra, illetve évjáratbeli különbségek vizsgálata	33
4.2.1. Egy töről szüretelt, különböző évjáratú minták alfa-sav tartalma.....	33
4.2.2. Őrlés	33
4.2.3. Évjáratbeli különbségek	35
4.3. Leveles komlók alfa-sav tartalmának csökkenése 0 °C-on, fény elől elzárva, vákuumzacskóban tárolva.....	37
4.3.1. A nedvességtartalom változása	37
4.3.2. Az alfa-sav tartalom csökkenés mértéke 6 hónap elteltével	38
4.3.3. Az alfa-sav degradáció és a nedvességtartalom összefüggése	40
5. Következtetések és javaslatok	43
6. Összefoglalás.....	45
7. Irodalomjegyzék.....	47
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	50
8.1. Táblázatok jegyzéke	50
8.2. Ábrák jegyzéke	51
9. Köszönetnyilvánítás	53

1. Bevezetés és célkitűzések

A sörfőzés már középiskolás tanulmányaim mellett kedvenc szabadidős tevékenységem lett. Az elmélet és technológia egyaránt foglalkoztatott, természetesen ekkor még technológia helyett inkább gyakorlatnak nevezném azt, amivel otthoni keretek között próbálkoztam. Érdeklődésemből kifolyólag 2019-ben, nyári diákmunka keretei között két hónapot töltöttem a Fehér Nyúl kisüzemi sörfőzdében, ahol a technológiát kisüzemi körülmények között is megtapasztalhattam. Ekkor döntöttem el, hogy komolyabb szinten szeretnék sörrel foglalkozni.

Továbbképzésem céljából jelentkeztem a hazánkban szakmai körökben elismert, Miskolcon sört és sörgyártó berendezéseket gyártó Zip's Brewhouse OKJ képzésére. A képzés gyakorlati részét Miskolcon és nagyobb kapacitású, Zip gépekkel telepített budapesti First főzdében teljesítettem. A képzés által otthoni sörfőzőből hivatalosan „szakképzett” sörgyártóvá váltam. Az idézőjel alkalmazását utólag azért tartom szükségesnek, mivel ma már tudom, hogy mind elméleti, mind gyakorlati ismereteim a bizonyítvány megszerzésére elegendőek voltak, de szakmailag nem nevezném teljesen képzett, alapos tudásnak. Egyértelmű volt, hogy felsőoktatási tanulmányaimat is ezen a területen szeretném megkezdeni, annak reményében, hogy megalapozott tudásomat tudományos keretek között is elmélyítsem.

Régóta érdekelt a komló otthoni körülmények közötti termesztése. Egy sörfőzőboltban vett Willamette komló rizómával próbálkoztam saját növény termesztésére, több-kevesebb sikerrel. Nagy öröm és megtiszteltetés volt számomra, hogy másodévesként csatlakozhattam a – jelenlegi konzulensem – Dr. Kun-Farkas Gabriella által vezetett TDK műhelyhez. A műhely elsődleges célja a sör egyik legfontosabb – és legdrágább - összetevőjének, a komlónak a vizsgálata. Ezen belül alapvetően az iparban elterjedt, pelletizált komlókészítményekre optimális vizsgálatok és alkalmazási módszerek adaptálása szárított leveles fajtákra.

A tudomány jelenleg elsősorban a pelletizált komlókra fókuszál, így az utóbbi években kevés kutatás és szakirodalom jelent meg leveles komlók vizsgálatáról. Hazánkban elsősorban kisüzemi főzdék alkalmazzák a leveles formában történő adagolást, legfőképpen saját termesztésű komlókat használnak. Az Egyesült Államokban a komlótermesztő cégek szárított leveles formában is értékesítik termékeiket, így nagyobb sörgyárok is használják különleges főzeteikhez. Véleményem szerint a leveles komló vizsgálata és komlópellettekkel való különbségeinek feltárása az iparnak hasznos információkkal szolgálhat. Munkám során a szárított leveles komlókról egy általános képet szeretnék kapni, amely a további, részletesebb vizsgálatokhoz és említett összehasonlításhoz megfelelő támpontokat nyújthat.

Munkám célja a komló sörgyártás szempontjából legjelentősebb komponensei közé tartozó keserűsavak: alfa- és béta-savak, ezen belül elsősorban az alfa-savak vizsgálata. Célom, hogy - a sörgyártásban kevésbé elterjedt - hazai termesztésű leveles komlófajtákat vizsgáljam. Kutatásom során a szárított leveles komlók vizsgálati módszereit, illetve azoknak eredményeit mutatom be.

Az eredményeket összevetem vákuumcsomagolt komlópelletekkel és bálázott komlókkal történő vizsgálatokkal. Elsődleges célom, hogy alapvető információkat gyűjtssek a módszerekről, valamint az alkalmazási hasonlóságokról és különbségekről, amely adatok reményeim szerint a szárított leveles komlók további vizsgálataihoz megfelelő segítséget nyújtanak. A munka során az alábbi szempontokat tervezem vizsgálni:

- A mintaelőkészítés (örlés) jelentősége szárított leveles komlók alfa-sav tartalom meghatározásánál, ASBC-Hops 6 módszer alkalmazásánál
- A minták nedvességtartalmával történő kalkuláció beiktatása az alfa-sav tartalom vizsgálatánál
- Otthoni körülmények között termesztett és szárított leveles komlók alfa-sav tartalmának meghatározása és összehasonlítása irodalmi értékekkel
- Egy töről szüretelt, különböző évjáratú minták összehasonlítása
- Izomerizációs hatásfok vizsgálata laboratóriumi léptékű forralásos kísérletekkel, szárított leveles komlók esetében
- Az örlés és nedvességtartalom hatása az izomerizációs hatásfokra
- Tárolási kísérlet: komlófajták nedvesség- és alfa-sav tartalmának változása több hetes tárolás következtében
- A legalkalmasabb számítási módszer kiválasztása az alfa-sav csökkenés mértékének megadására
- Az alfa-sav degradáció és nedvességtartalom közötti korreláció vizsgálata

Összességében sok szempontból tervezem megközelíteni a vizsgálatokat és igyekszem általános képet adni a szárított leveles komlóvizsgálatok módszereiről, a fizikai, kémiai tulajdonságok egymással való összefüggéseiről.

2. Szakirodalmi áttekintés

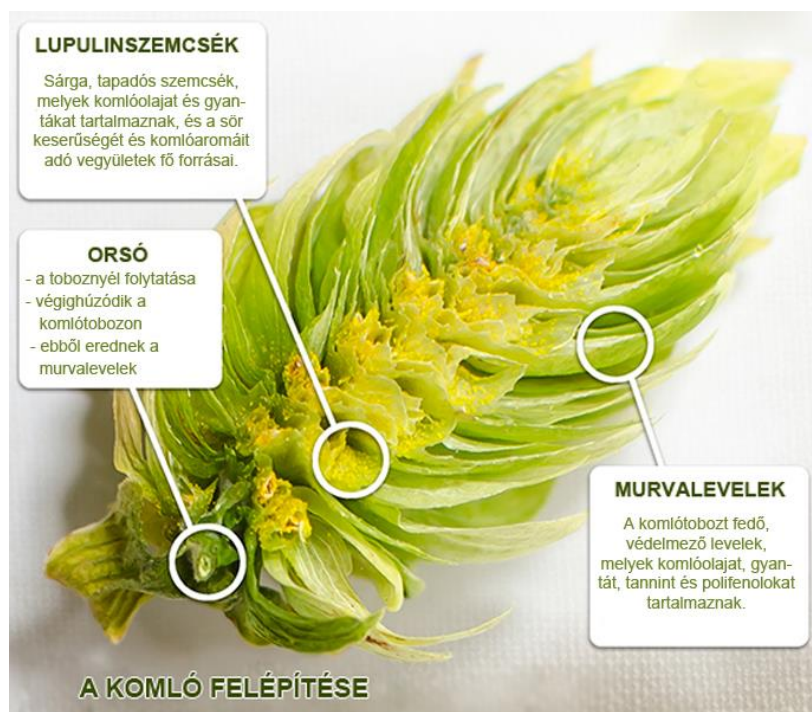
2.1. A komló

2.1.1. A növény

A közönséges komló (*Humulus lupulus*) a *Humulus* nemzetségbe tartozó kétlaki, évelő, kúszónövény, amely a kenderfélék (*Cannabaceae*) családjába tartozik (Almaguer *et al.*, 2014).

Az északi féltekén őshonos növény a mérsékelt éghajlati övben április végétől július elejéig erőteljesen növekszik és egy bizonyos magasság elérését követően virágozni kezd. A virágzás másik feltétele az optimális napsütéses órák száma. Délebbre a napok hossza túl rövid, északon pedig az éghajlat kedvezőtlen, ezen okokból kifolyólag csak 38° és 51° szélességi fokok között terem. (Koetter és Biendl)

A sörgyártásban csak a nőivarú növények megtermékenyítetlen virágzatai által alkotott komlótobozokat használják. A toboz egy orsónak nevezett tengelyből eredő murvalevelekből álló virágzat, éréskor a levelek tövében finom, sárga, gyantaszerű lupulinmirigyek termelődnek (1. ábra). A mirigy porszerű szemcséiben szintetizálódnak a sörfőző számára értékes másodlagos anyagcseretermékek, a gyanták és az illóolajok. (Almaguer *et al.*, 2014)



1. ábra: A komló felépítése
(Forrás: Internet 1 nyomán)

2.1.2. Történelem

A sörfőzés a világ egyik legősibb biotechnológiai folyamatának tekinthető. Egyetemes történelme egészen – a Közel-Keleten fellelt régészeti bizonyítékok alapján – 8000 évvel ezelőttre nyúlik vissza. A komló és a sör találkozása jóval később valósult meg. Az első írásos bizonyíték komlóval kombinált sörfőzésről egy 736-os német, hallertaui kolostorból származik. A X. századtól Angliában, Belgiumban és Franciaországban több kolostorból is rendelkezésünkre állnak információk, amelyek szerint nagy mennyiségű komló- és malátaadót vártak el bérlőiktől. Ezek alapján a vadkomló szedését ekkorra már komlóültetvények szüretelése váltotta fel. (Korpelainen és Pietiläinen, 2021)

Jelenleg a söripar a világ komlófelhasználásának 98%-áért felelős (Zanoli és Zavatti, 2008). A FAO statisztikai adatai alapján az utóbbi években a komló termesztésére szánt terület világszinten 100 000 hektár körül mozog és összesen 180 000 tonnát takarítanak be, ennek több mint felét az Egyesült Államok (52 000 tonna) és Németország (48 000 tonna) termeli, a harmadik és negyedik helyen pedig Csehország és Kína tartózkodik, mindkettő nagyjából 8000 tonna/év termelésével (Internet 2).

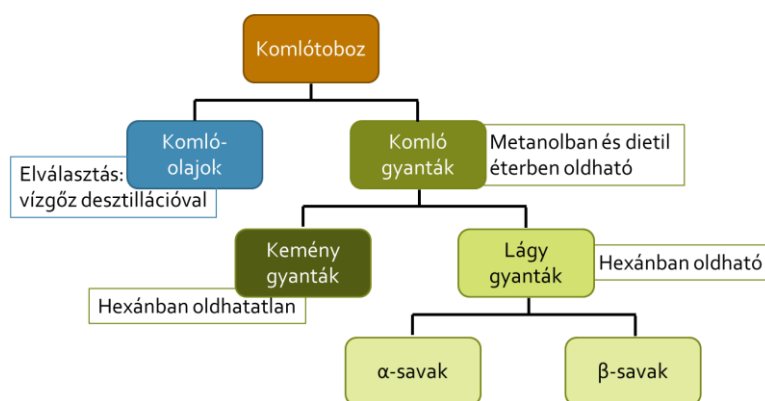
2.1.3. A komló söriparilag értékes komponensei

A komlótohozók főbb alkotóelemeit az 1. táblázatban ismertetem. A megtermékenyítetlen virágok leveles jellege biztosítja az olyan mindenütt jelenlevő anyagok, mint a fehérjék, szénhidrátok és polifenolok, avagy cseranyagok jelenlétét (Almaguer *et al.*, 2014).

1. táblázat: Szárított komlótohozók átlagos kémiai összetétele
(Forrás: Hough *et al.*, 1982 nyomán)

Alkotóelem megnevezése	Tömegszázalék (%)
Kemény és lágy gyanták	15-30
Illóolajok	0,5-3
Fehérjék	15
Monoszacharidok	2
Polifenolok (tanninok)	4
Pektinek	2
Aminosavak	0,1
Viasz és szteroidok	nyomokban – 25
Hamu	8
Nedvesség	10
Cellulóz, lignin stb.	43

A sörgyártás szempontjából leginkább értékes komponensek a gyanták és az illóolajok. Előbbit további két csoportra oszthatjuk: kemény és lágy gyantákra (2. ábra). A kemény gyanták definíció szerint a metanolban és dietil-éterben igen, de hexánban és alacsony forráspontú paraffinos szénhidrogénekben nem oldódnak. A lágy gyanták általánosan elfogadott meghatározása, hogy hexánban is oldhatóak. Ez a frakció biztosítja a komló szempontjából értékes keserűanyagok szinte teljes egészét. A komlótohoz másik legfontosabb alkotóelem-csoportja a – szintén a lupulin mirigyek által termelt – illóolajok, amelyek nem a keserűségért, hanem a sör aromájáért felelősek. (Almaguer *et al.*, 2014)

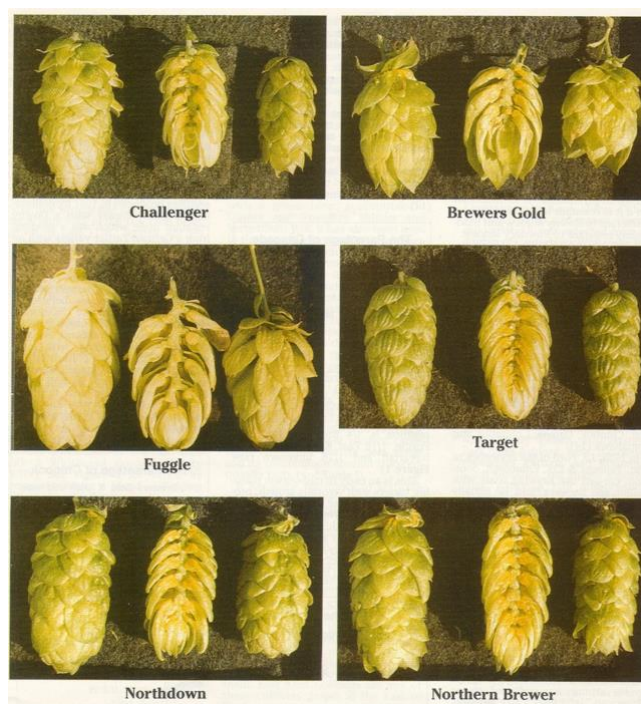


2. ábra: A komlótohoz söriparilag értékes komponensei
(Forrás: Machado *et al.*, 2019 nyomán)

Szükségem tartom továbbá a sörnek szintén – habár kevésbé jelentős mennyiségben – értékes keserűanyagokat kölcsönző polifenolokat is megemlíteni, amelyeknek antioxidáns és fehérje-komplex képző hatásuk miatt jelentős szerepük van a sörlé elkészítésében. (Oladokun *et al.*, 2016)

Az 1. táblázatban szembeűnő, hogy a technológiai szempontból értékes anyagok mennyisége széles tartományban ingadozhat. Ezek alapján a komlófajtákat három típusba sorolják: keserűkomlók (nagy lágy gyanta tartalmúak), aromakomlók (illóolajokban gazdagok) és duál-komlók (mind a gyantatartalom, mind az illóolajok mennyisége jelentős). Továbbá típusokon belül a fajtajelleg, illetve az évjáratbeli különbségek is hozzájárulnak az ingadozáshoz. Előbbire látványos példa a fajtánként eltérő tobozszerkezet. A 3. ábrán különböző fajták frissen szűretelt tobozai láthatóak teljes, illetve keresztmetszeti fényképeken.

Ezen túl pedig mind az éves csapadékmennyiség, mind a napsütéses órák száma erősen befolyásolják a növény végleges kémiai összetételét. Kutatások szerint a meleg, csapadéktelen nyarak kiugróan alacsony alfa-sav tartalmú komlókat eredményeznek. (Krofta *et al.*, 2017)



3. ábra: Különböző tobozok teljes és keresztmetszeti fényképei
(Forrás: Lemmens, 1998)

2.2. Keserűsavak kémiai szerkezete és változásai

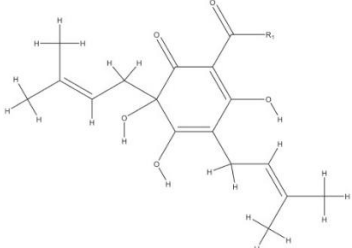
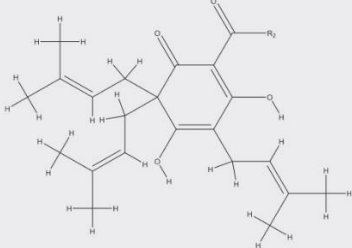
2.2.1. Keserűsavak

Dolgozatomban a lágy gyanták legfontosabb alkotóelemeit, a keserűsavakat vizsgálom. A keserűsavakat további két csoportra tudjuk bontani: alfa-savakra, avagy humulonokra és béta-savakra, avagy lupulonokra. Kémiai szerkezetük a 4. ábrán látható. Szerkezetük hasonló, amelyekhez a kapcsolódó oldalláncok függvényében 5-5 homológot különböztetünk meg. A három legjelentősebb a humulon/lupulon, kohumulon/kolupulon és adhumulon/adlumulon, amelyek oldalláncai három különböző hidrofób aminosavból származnak: leucin, valin és izoleucin. (De Keukeleire, 2000)

A béta-savak hozzájárulása a sörök keserűségéhez az alfa-savakhoz viszonyítva elenyésző. Az egyik leghíresebb példa Wöllmer 1930-ban publikált egyenlete, amely alapján a béta-savak keserűértéke az alfa-savak kilencedével egyenlő. (Wöllmer, 1930)

Újabb kutatások kimutatták, hogy a béta-savak magukban egyáltalán nem produkálnak keserűséget a sörlében. Az alfa-savak azonban a sör keserűségének több mint 85%-áért felelősek, pontosabban az alfa-savakból - forralással - termikusan izomerizált izo-alfa-savak. (Krofta *et al.*, 2017)

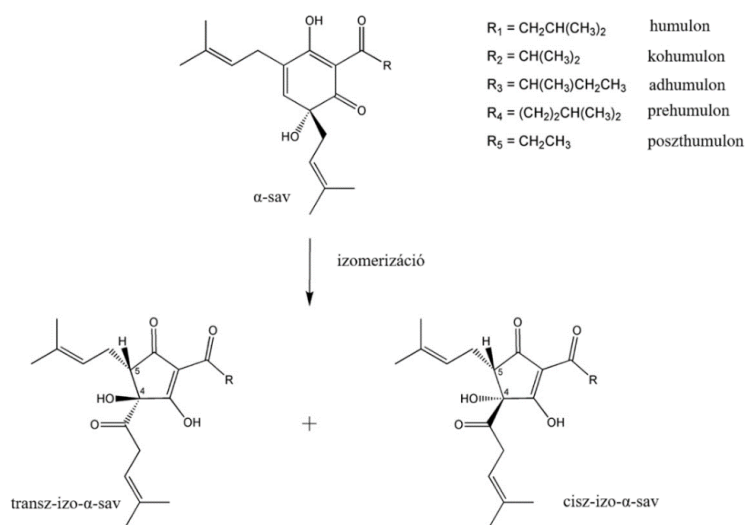
Munkám során ezáltal elsősorban az alfa-savakkal foglalkozom.

Savak	Szerkezet	R	Homológ
α -savak		$R_1 = \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$ $R_1 = (\text{CH}_2)_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_1 = \text{CH}_2\text{CH}_3$	humulon kohumulon adhumulon prehumulon poszthumulon
β -savak		$R_2 = \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_2 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_2 = \text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$ $R_2 = (\text{CH}_2)_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ $R_2 = \text{CH}_2\text{CH}_3$	lupulon kolupulon adlupulon prelupulon posztlupulon

4. ábra: Alfa- és béta-savak kémiai szerkezete
(Forrás: Sun *et al.*, 2022 nyomán)

2.2.2. Izomerizáció

Az előző fejezetben (2.2.1.) említettem, hogy az alfa-savak hidrofób vegyületek. Ezért ahhoz, hogy poláris oldószerben, esetünkben sörben oldhatóvá tegyük őket, termikus izomerizációt kell végrehajtanunk. Az 5. ábrán szemléltetem az alfa-savak izomerizációjának - kémiai szerkezetek segítségével prezentált - folyamatát. A reakció során az alfa-savak szerkezeti változásokon mennek keresztül, amelyek eredményeképpen sztereoizomerek, transz-izo-alfasavak, illetve cisz-izo-alfasavak képződnek. A reakció termékei már vízben oldható, poláris vegyületek. A magas hőmérséklet, amelyet forralás alatt is alkalmazunk, a cisz-izomerek alakulásának kedvez. (Caballero *et al.*, 2012)



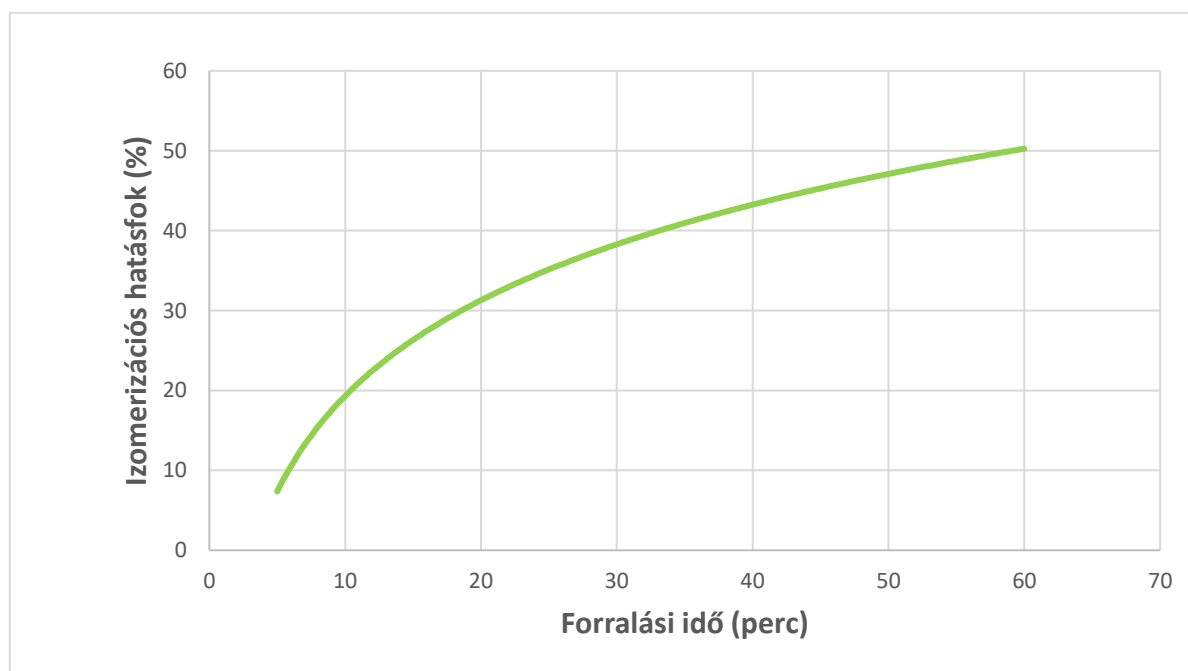
5. ábra: Az alfa-savak kémiai szerkezetének változása a komlóforralás alatt lejátszódó izomerizáció hatására (Forrás: Caballero *et al.*, 2012 nyomán)

2.2.3. Komlóforralás

A komlóforralás az egyik legmeghatározóbb technológiai lépés. Több technológiai célja is van, úgy, mint a sörlé sterilizálása, fehérje-koagulálás, enzimek inaktiválása vagy a sörlé extrakttartalmának növelése, beállítása. A folyamatot azonban nem véletlenül a komlóról keresztelték el, mert legfontosabb célunk a komló alfa-savainak izomerizációja általi termékek (izo-alfa-savak) antibakteriális hatása, amely – az átlagos sörök alacsony alkoholtartalmát (kb. 5%) figyelembe véve – elengedhetetlen a tartósítás szempontjából. Nem utolsó sorban pedig a sörökre jellegzetes keserűízt is ennek a folyamatnak köszönhetjük. (Kunze, 2004)

A komlóforralás során az alfa-savak termikus izomerizációja tökéletlen, az összes adagolt alfa-sav mennyiségének és az izomerizálódott izo-alfa-savak mennyiségének arányából számítható a forralási hasznosulás, százalékban megadva. A technológiában - mind gyakorlati, mind gazdasági szempontból - a nagyjából 5,5 pH értékű sörlevet átlagosan 60 percig forraljuk, 100 °C-on. (Klimczak és Cioch-Skoneczny, 2023)

A forralás végén 50%-os hatékonysággal érdemes számolni, a 6. ábrán egy átlagos forralás során történő izomerizációs hatásfok telítési görbét mutatom be. Az erjesztés, kondicionálás és fejtés után az eredeti keserűanyagok nagyjából 25-30%-a marad a késztermékben. (Bamforth, 2000)



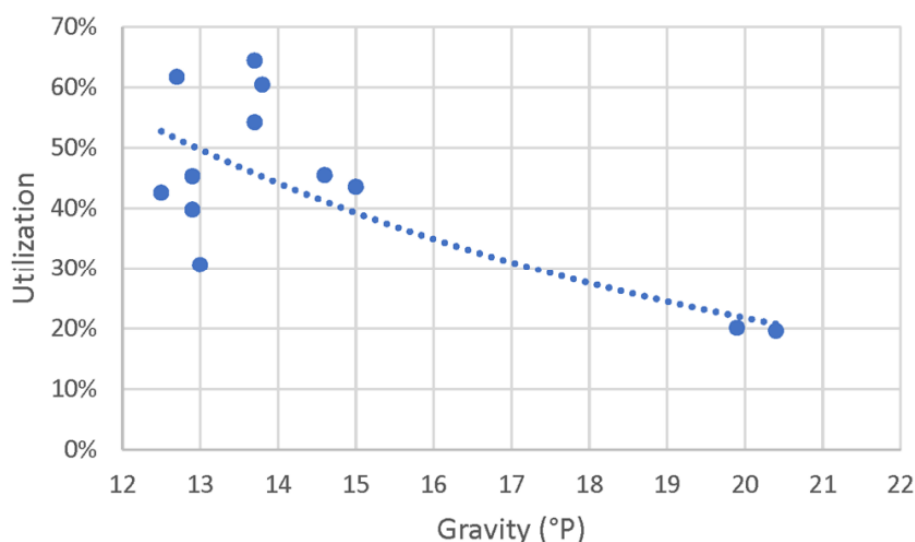
6. ábra: Az izomerizációs hatásfok alakulása a forralási idő függvényében
(Forrás: Jaskula *et al.*, 2009 nyomán)

A hasznosulás több tényezőtől függ, úgy, mint forralási idő, forralási hőmérséklet, pH, a sörlé extrakttartalma, a komló adagolása, illetve a víz ásványianyag-tartalma (Klimczak és Cioch-Skoneczny, 2023). Kísérletek alapján a 60%-nál nagyobb izomerizáció az izo-alfa-savak további bomlását eredményezi, amelyek kellemetlen, csípős keserűséget okoznak a kész sörben (Kappler *et al.*, 2010).

Az izomerizációs folyamatok már 80°C-on megkezdődnek, kis sebességgel. 100 °C-on a 60%-os hasznosuláshoz 90 perc szükséges. A hőmérséklet 10°C-kal való emelésével az izomerizáció több, mint kétszer (átlagosan 229%-kal) gyorsabban játszódik le, 130°C-on már 8 perc alatt. A hőmérséklet emelésével azonban az említett bomlási termékek mennyisége is nő, anélkül, hogy a 60%-os hasznosulást túllépnénk. (Malowicki és Shellhammer, 2005)

A pH érték – a technológiában alkalmazott tartományban – magát az izomerizációt nem befolyásolja, azonban az alfa-savak oldhatóságát jelentősen. A pH emelésével nő az alfa-savak oldhatósága, amellyel nő a közegben a szubsztrátkoncentráció, amely felgyorsítja a folyamatot, növelve az izomerizáció sebességét. (Jaskula *et al.*, 2010)

A sörlében oldott szárazanyagtartalom, azaz extrakttartalom növelésével csökken az izomerizáció mértéke. Jaskula és munkatársai (2010) kimutatták, hogy az 1,083 relatív sűrűségű (20°P) sörlében feleakkora hasznosulás történt, mint a 1,048 relatív sűrűségűben (12°P). A kísérlet eredményét megerősíti, hogy a 7. ábrán látható, Justus által végzett kísérlet szinte megegyező eredményt produkált.



7. ábra: Az izomerizációs hatásfok (%) alakulása a sörlé extrakttartalmának (°P) függvényében (Forrás: Justus, 2018)

Kutatások alapján az adagolt komló mennyisége és az adagolt alfa-sav tartalom is befolyással van a hasznosulás mértékére. Egy kis alfa-sav tartalmú komló nagy mennyiségben való alkalmazása rosszabb hasznosulással jár, mint egy - ezzel alfa-sav mennyiségben egyenlő - nagyobb alfa-sav tartalommal rendelkező komló kis mennyiségben történő adagolása. Ezen túl pedig maga az adagolt alfa-sav tartalom mennyisége is hasonlóképpen működik, az oldódásból kifolyólag. Literenként 20 milligramm alfa-savnak megfelelő komló alkalmazása esetén másfélszer akkora hasznosulást értek el, mint literenként 90 milligramm alfa-savnak megfelelő komló adagolásával. (Irwin *et al.*, 1985)

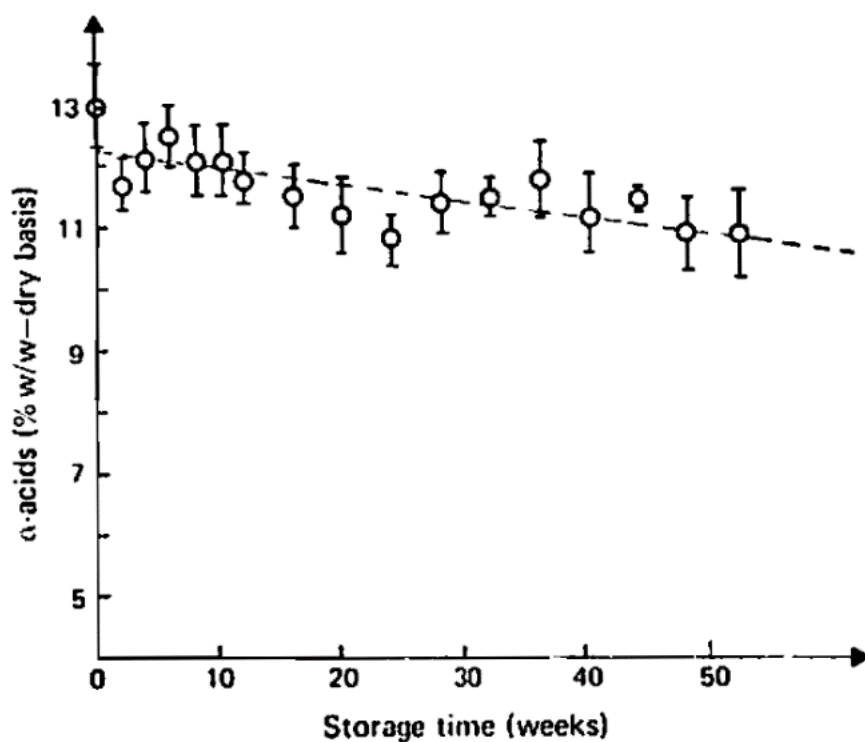
Az utolsó faktor, amely befolyásolja az izomerizációs hatásfokot a sörlé ásványianyag-tartalma. Irodalmak feltételezik, hogy a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ és K^+ kationok koncentrációjának növelésével az alfa-savak izomerizációjának sebessége is nő. Jaskula és munkatársai (2010) ezt megerősítették, munkájuk alapján a sörlében ezen ionok koncentrációjának 5 mg/literrel való emelése 9-23%-kal növeli a hasznosulás mértékét.

2.3. Komló keserűsavak vizsgálatai

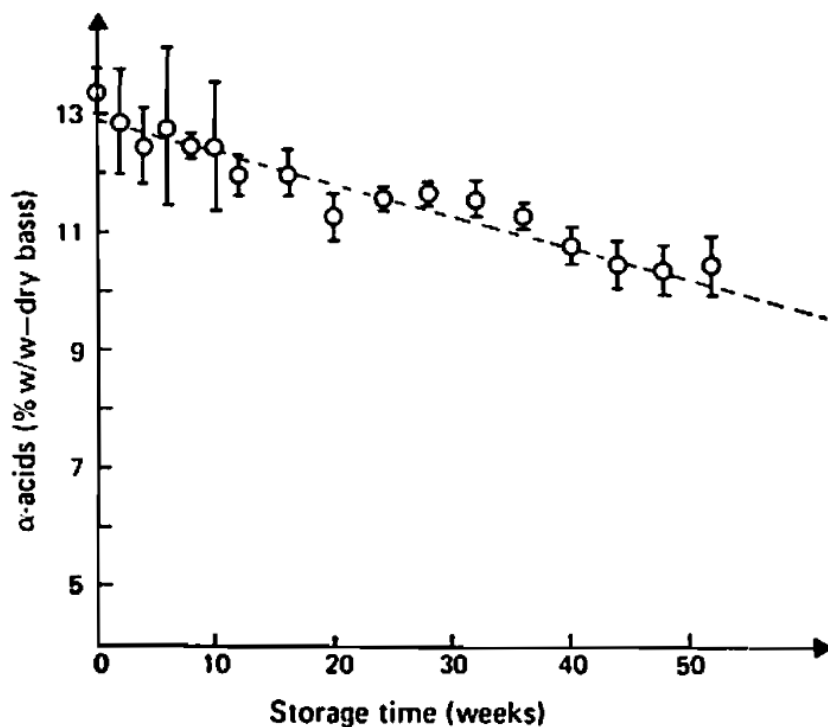
A komlók lágy gyantáiban fellelt keserűsavak a tárolás következtében oxidálódnak és polimerizálódnak, azaz degradálódnak. Az alfa-savakból úgynevezett humulinonok, a béta-savakból pedig huluponok képződnek, amelyeknek bár vízdoldhatósága jobb - hiszen szerkezetük hasonló az izomerizált savakéhoz -, keserűértékük alacsonyabb (Duarte *et al.*, 2022). Az alfa-sav degradáció mértéke függ a hőmérséklettől, a hozzáférhető oxigéntől, feldolgozottság mértékétől és a fénytől (Caballero *et al.*, 2012). Tehát az oxidáció és polimerizáció mértékének csökkentése elsődleges cél kell, hogy legyen a tárolási körülmények beállításánál. Példának olyan kutatások eredményeit mutatom be, amelyek ebben a témában születtek.

2.3.1. Tárolási hőmérséklet hatása bálázott komló alfa-sav stabilitására

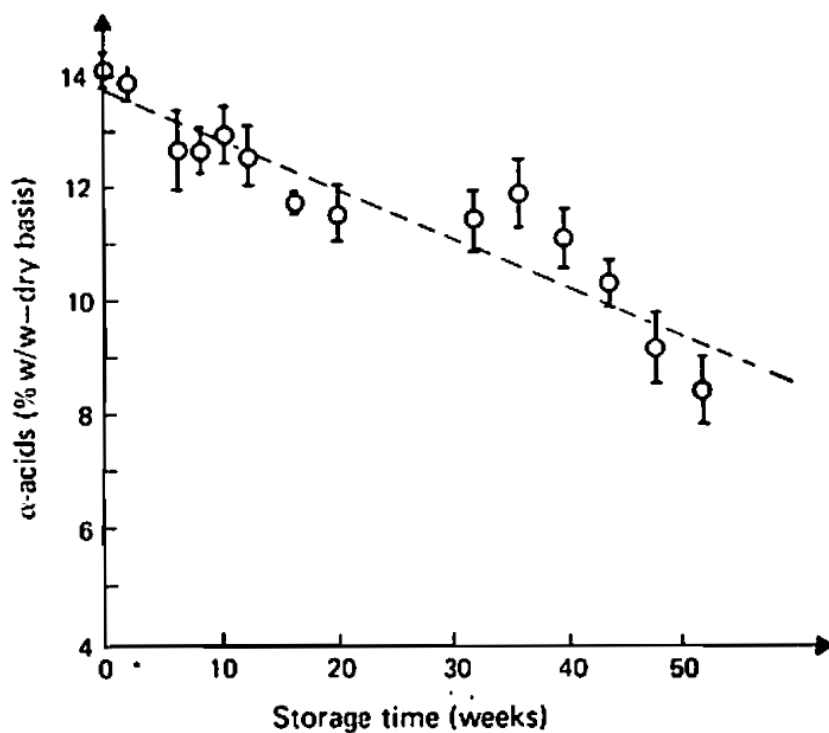
Skinner és munkatársai 1977-ben nem pelletizált, hanem bálázott komlók alfa-sav tartalmának stabilitását vizsgálták különböző tárolási hőmérsékletek között. A kísérletek során egy ausztrál termelőtől származó Pride of Ringwood fajtájú komlókat használtak, amelyeket négy különböző hőmérsékleten (-20°C , -5°C , $+5^{\circ}\text{C}$ és $+22^{\circ}\text{C}$) tartottak. A minták maximum 12%-os nedvességtartalommal kerültek eltérő tárolási körülmények közé. A bálákat – nagy méretükből és az akkori technológiai akadályokból kifolyólag – nem légmentes csomagolással látták el. A vizsgálatokat először két-, később négyhetente végezték és a mért alfa-sav tartalmakat az eltelt idő (hetek) függvényében ábrázolták. A pontokra regressziós modellt illesztettek (8-11. ábra).



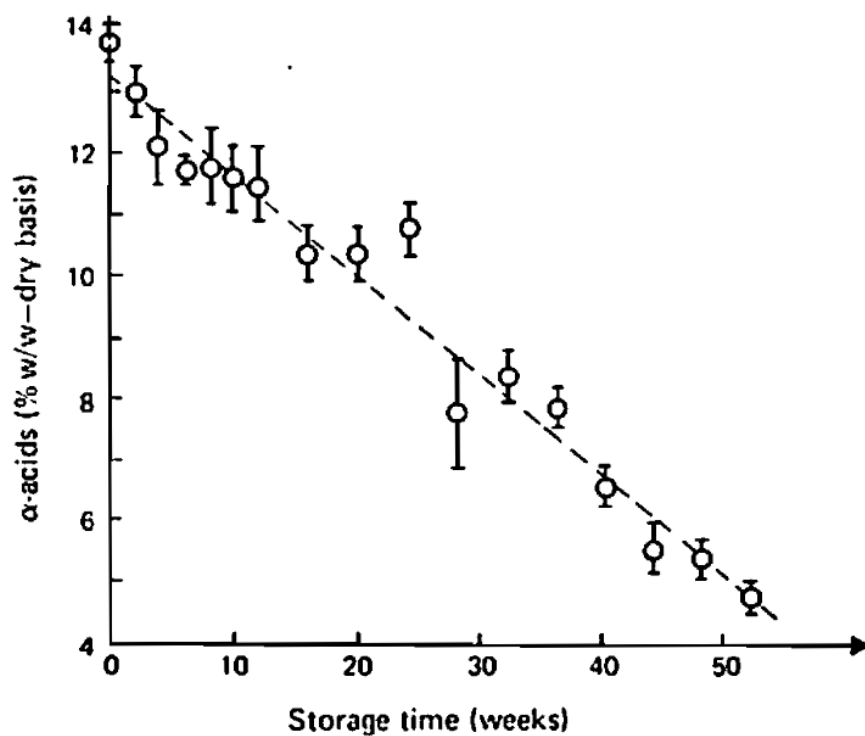
8. ábra: -20 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner *et al.*, 1977)



9. ábra: -5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner *et al.*, 1977)



10. ábra: + 5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner *et al.*, 1977)



11. ábra: +5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner *et al.*, 1977)

Az ábrákon megfigyelhető, hogy a lineáris illeszkedés bizonyult leginkább adekvátnak az alfa-sav tartalom változásának leírására. Tehát az alfa-savak csökkenésének sebessége az idő előrehaladtával nem változik (kevesebb alfa-sav jelenlétében nem lassul). A degradáció sebessége azonban a hőmérséklettel egyenesen arányos, tehát a komló magasabb hőmérsékleten, adott idő alatt több alfa-savat veszít. A csökkenés mértékét leíró lineáris regresszió megoldásait a 2. táblázatból lehet kiolvasni.

2. táblázat: Bálázott komlók alfa-sav tartalom csökkenése, eltérő tárolási hőmérsékleteken
(Forrás: Skinner *et al.*, 1977 nyomán)

Tárolási hőfok (°C)	Kezdeti alfa-sav tartalom (%)	Alfa-sav tartalom változása egy hétre vonatkoztatva (%)	Korrelációs együttható (r)
-20	12,2	-0,026	-0,74
-5	12,9	-0,051	-0,96
+5	13,7	-0,081	-0,92
+22	13,3	-0,163	-0,98

A korrelációs együtthatók az abszolút linearitáshoz ($r=1$) konvergálnak, tehát az idővel egyenesen arányos alfa-sav tartalom degradáció elmélete helyesnek bizonyult. Továbbá a szerzők azt is megállapították, hogy a tárolási hőfok 15 °C-kal való emelése következtében az alfa-savak romlásának mértéke duplájára nő.

2.3.2. Tárolási hőmérséklet hatása komlópellet kémiai összetételére

Canbaş és munkatársai (2001) hasonlóképpen a tárolási hőmérséklet hatását vizsgálták a komlók kémiai összetételére – köztük az alfa-savakéra is. Ebben a vizsgálatban már szüret után közvetlenül feldolgozott komlópellettel foglalkoztak. A friss pellet a tárolás alatt már műanyag vákuumsomagolásban tartott minták voltak, kémiai összetételük változásait hat hónap elteltével vizsgálták, 3 °C-on és szobahőmérsékleten.

A mérésekkel a sörfőző számára legjelentősebb komponenseket vizsgálták, úgy, mint lágy és kemény gyanták, alfa- és béta-savak, illóolajok és csersavak mennyisége, mind tömegszázalékban megadva. A kémiai komponensek mellett a nedvességtartalom változását is megfigyelték. Ezek közül most csak a saját vizsgálataimhoz hasznos adatokat, az alfa-sav- és nedvességtartalomhoz kapcsolódó eredményeket mutatom be részletesen, melyek a 3. táblázatban olvashatóak.

3. táblázat: 3°C-on és szobahőmérsékleten 6 hónapig tárolt komlópelletek alfa-sav tartalmának és nedvességtartalmának változásai (Forrás: Canbaş *et al.*, 2001 nyomán)

Komlófajták	Alfa-sav tartalom (%)			Nedvességtartalom (%)		
	Kezdeti	3 °C, 6 hónap elteltével	szobahő, 6 hónap elteltével	Kezdeti	3 °C, 6 hónap elteltével	szobahő, 6 hónap elteltével
Brewers Gold	7,12	5,74	4,72	7,00	6,90	7,01
Efes Aroma	7,92	7,30	5,03	7,49	7,81	7,79
Galena	12,34	11,45	8,25	7,39	7,07	7,24
Northern Brewer	14,05	13,08	8,88	7,46	7,68	7,23
Saaz	7,21	6,45	4,99	7,11	6,90	7,00

A kísérlet eredménye szerint a csersavak és a nedvességtartalom mértéke nem változott. A lágy gyanták (alfa- és béta-savak) és az illóolajok mértéke melegebb tárolási körülmények között jobban csökkent, a kemény gyanták állománya pedig jobban nőtt. Összegezve söripari értéke nagyobb mértékben romlott szobahőmérsékleten, mint 3°C-on.

Kísérleteim során a nedvességtartalommal is foglalkozom. A szerzők a kísérlet elején és végén egyaránt megmérték a minták nedvességét. Az 3. táblázatban látható, hogy az eltérések minimálisak, illetve semmilyen korreláció nem mutatható ki a tárolási hőmérséklet függvényében. Ehhez valószínűleg a vákuumcsomagolás is jelentősen hozzájárul.

A szerzők eredményeik kiértékeléséhez az alfa-sav degradáció mértékét százalékos veszteségként adták meg, amely szerint a 3 °C-on tárolt minták alfa-sav tartalmának veszteségei – a Brewers Goldon magas értékén (19,4%) kívül – 6,9 és 10,5% közé estek. A szobahőmérsékleten tárolt minták pedig 30,8 és 36,4% alfa-sav degradáción mentek keresztül.

2.3.3. Összehasonlítás

A két kutatás a csökkenés mértékét nem azonos számítási módszerrel adja meg. Canbaş és munkatársai (2001) a csökkenést az eredeti alfa-sav tartalomra vonatkoztatott százalékos arányban fejezik ki. Skinner és munkamunkatársai (1977) pedig magát a tömegszázalékos csökkenést adják meg, az eredeti alfa-sav tartalomra való vonatkoztatás nélkül. Így az eredmények összehasonlíthatósága érdekében az értékek egységesítése szükséges.

Az előző fejezetben (2.3.2.) bemutatott kísérlet eredményeit az összehasonlítás megvalósításához hetenkénti alfa-sav tartalom csökkenésre számoltam át. Az eredményeket az 4. táblázatban ismertetem.

4. táblázat: Vákuumcsomagolásban tárolt komlópelletetek alfa-sav tartalmának csökkenése egy hétre vonatkoztatva (Forrás: Canbaş *et al.*, 2001 nyomán)

Komlófajták	Brewers Gold	Efes Aroma	Galena	Northern Brewer	Saaz
Kezdeti alfa-sav tartalom (%)	7,12	7,92	12,34	14,05	7,21
3 °C-on tárolt alfa-sav veszteség / hét (%)	0,053	0,024	0,034	0,037	0,029
Szobahőn tárolt alfa-sav veszteség / hét (%)	0,092	0,111	0,157	0,199	0,085

Számos szerző az alfa-sav tartalom csökkenését százalékosan adja meg (Canbaş *et al.*, 2001; Srečec *et al.*, 2008; Taniguchi *et al.*, 2013). Mivel Skinner és munkatársai (1977) a 2.3.1. fejezetben bemutatottak szerint kimutatták, hogy a degradáció lineáris, ezért indokoltnak tartom magával a csökkenés értékével számolni.

Továbbá a 4. táblázatból jól kivehető, hogy az alfa-sav tartalom degradációjának mértéke nem korrelál a kezdeti alfa-sav tartalommal. Ez is alátámasztja, hogy adekvátabb a csökkenés mértékével számolni, tehát azzal, hogy az összes tömegből mennyivel (hány százalékkal) kevesebb alfa-sav lett a késztermékben, mint a csökkenést az eredeti tömegre vonatkoztatni.

Például, ha egy komló 15%-os alfa-sav tartalma 14%-ra csökken, akkor az 100 gramm komlóból 15 helyett már csak 14 gramm alfa-savat tartalmaz. Amennyiben egy 5%-os fajta alfa-sav tartalma 4%-osra csökkent, akkor 100 gramm komlóból 5 helyett már csak 4 gramm alfa-savat tudunk felhasználni. Mindkét esetben 1% csökkenést mérünk (1 gramm a veszteségünk), de ha ezt az eredeti tömegszázalékra visszaosztanánk, úgy ahogy az több irodalomban is szerepel (Canbaş *et al.*, 2001; Srečec *et al.*, 2008; Taniguchi *et al.*, 2013), akkor az első esetben 6,66%-os (1/15), második esetben pedig 20%-os (1/5) veszteséget kapnánk. Technológiailag pedig mindkét esetben 100 grammonként 1-1 grammal kevesebbet tudnánk a sörhöz adagolni, tehát ez a megoldás nem tükrözi a veszteség gyakorlati oldalát.

A két kutatás során vizsgált komlóminták mind feldolgozottsági szinten (leveles és pelletizált), mind csomagolásuk terén (bálázott és vákuumcsomagolt) különböztek egymástól. Az összehasonlításhoz közös nevezőt a hasonló tárolási hőfokok biztosítanak, úgy mint 3 és 5°C-on, illetve a szobahőn és 22°C-on kapott eredmények szerint csoportosítottam.

5. táblázat: Vákuumsomagolt komlópelletek és bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom vesztesége közel azonos hőmérsékleteken, egy hétre vonatkoztatva
(Forrás: Skinner *et al.*, 1977; Canbaş *et al.*, 2001 nyomán)

	Alfa-sav tartalom veszteség, egy hétre vonatkoztatva (%)		
Tárolási hőfok	Vákuumsomagolt komlópellet	Bálázott leveles komlók	Különbség
3-5°C	0,036	0,081	0,045
szobahő és 22°C	0,129	0,163	0,034

Az 5. táblázatban bemutatott eredményekből látszik, hogy mindkét hőmérsékleten a feldolgozottságbeli különbség és a levegővel való érintkezés mértékéből kifolyólag a bálázott komlók hetente nagyjából négy század tömegszázalékkal több alfa-savat vesztek, amely hosszabb távon, fél év alatt körülbelül egy egész tömegszázalékkal nagyobb veszteséget okoz. Tehát 1 kg komlóból akár 10 grammal több alfa-sav vész el, ami jelentős, tekintve, hogy egy átlagos késztermék alfa-sav tartalma literenként 20-50 milligramm.

2.4. Komló szüretelésének, szárításának, pelletizálásának folyamata

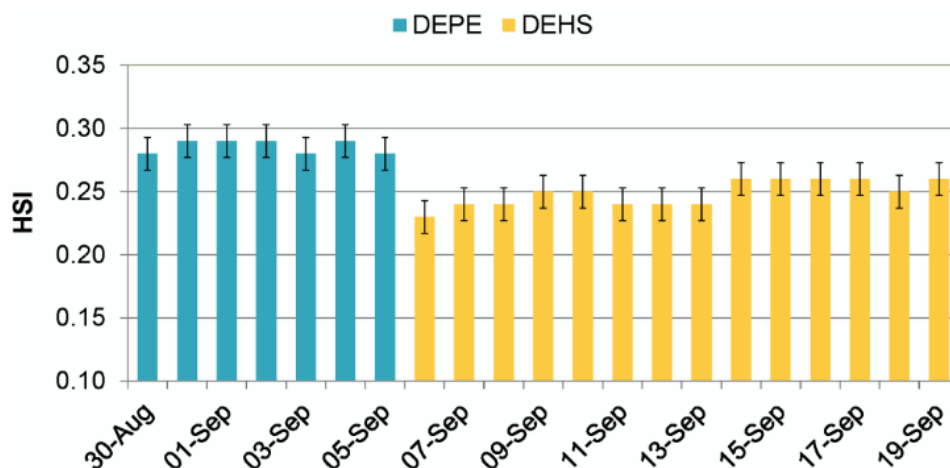
2.4.1. Szüret

A komlótohozók technológiai érettségét a gyantatartalom alapján állapítják meg, amely késő nyáron vagy kora ősszel a legmagasabb. A szüretnek ezáltal – ideális esetben - augusztus végétől, szeptember közepéig kell megtörténnie. (Almaguer *et al.*, 2014).

Cocuzza és munkatársai (2013) a szüretelési időpont HSI¹-re történő hatását vizsgálták. A minták különböző német aroma- és keserűkomlók voltak. Előbbieket augusztus 30. és szeptember 5. között, a keserűkomlókat pedig szeptember 7. és szeptember 19. között szüretelték. Az 12. ábrán a DEPE, azaz kék oszlopok jelölik a Perle aromakomló HSI értékét, különböző szüretelési időpontokban, a DEHS, azaz sárga oszlopok pedig a Hercules keserűkomló eredményeit jelölik.

Az ábra jól szemlélteti a szerzők konklúzióját, miszerint a későbbi szüretelési időpontok magasabb HSI értékeket eredményeztek. Ez elsősorban a keserűkomlókra igazolódott be, de a szerzők megjegyzik, hogy ennek az oka nagy valószínűséggel a hosszabb vizsgálati intervallum.

¹ A HSI (Hop Storage Index), úgynevezett komlótárolási index egy dimenzió nélküli viszonyszám, amely alapján a komlók és komlópelletek frissességét lehet megállapítani (Cocuzza, 2013).



12. ábra: Frissen szüretelt Perle aromakomlók (DEPE) és Hercules keserűkomlók (DEHS) HSI értéke, különböző szüretelési időpontokban (Forrás: Cocuzza, 2013)

2.4.2. Szárítás

A betakarított komlótobozok nedvességtartalma 75-80% körül van; ilyen magas nedvességtartalom mellett – az értékes vegyületeinek gyors romlásán felül – még a penészedés veszélye is jelentős (Almaguer *et al.*, 2014). Az első és legfontosabb lépés ekkor a minél előbb történő szárítás.

A szárítókamrákban 42-63°C között végzik a műveletet és minimum 7, maximum 22 óráig tart, a szárító levegő mennyiségétől és páratartalmától függően. A művelet befejezését követően a tobozok nedvességtartalma 5-15% között erősen változik. Az alacsonyabb nedvességtartalmú komló annyira törekeny, hogy a további anyagmozgatásnál összetörik, ami csökkenti a minőséget. Ezért a szárított tobozokat pelletizálás előtt ömlesztve mozgatják és 3-10 napig temperálják, hogy a nedvességtartalmuk kiegyenlítődjön, nagyjából 10%-osra, így csökkentve a későbbi kezelés során előforduló „törési veszélyeket”. (Henderson és Miller, 1972)

A szüret és a feldolgozás – mint azt általában az élelmiszeriparban használt nyersanyagok romlandósága megköveteli – kampányszerűen működik, mivel a pelletizációs gépsor kapacitása véges. Ebből kifolyólag a szárítást és a nedvességtartalom-kiegyenlítést követően a komlók jelentős részét akár két hónapig összenyomva, bálázva – félkész termékként - tárolják megfelelő körülmények között, mielőtt annak feldolgozását, avagy pelletizálását végre tudnák hajtani. Ez általánosságban maximum két hónapot jelent. (Srečec *et al.*, 2008)

2.4.3. Pelletizáció

Az előző fejezetben (2.4.2.) leírt bálázott komlók átmeneti tárolását követően sor kerül a pelletizációra. A folyamat ismertetéséhez – írásos szakirodalom hiányában – egy Szlovéniában működő komlóforgalmazó cég, a Himezad Exim bemutató videójának tartalmát foglalom össze (Internet 3). A legelterjedtebb komlótípus az úgynevezett type-90, amely nevét arról kapta, hogy 100 kg bálázott komlóból 90 kg pellet készül el. Először analizálják a bálákat, majd az eredmények függvényében kialakítják a megfelelő technológiai „receptet”, ahhoz, hogy minden egyes csomagban azonos minőségű terméket tudjanak értékesíteni.

A gyártási lánc első állomása, hogy a nagy, tömör bálákat kicsomagolják, majd bála-törő gép segítségével kisebb részekre aprítják. A komlóreszeket futószalagon egy homogenizációs kamrába szállítják, ahol a gépsor azért felelős, hogy az egy fajtájú, de változó minőségű komlóreszeket úgy keverje át, hogy azok konzisztenciája adekvát legyen egyféle termék készítéséhez. Itt történik meg a magok, szárrészek és egyéb szennyeződések – például a feldolgozás során bekerülő fémdarabok – eltávolítása is.

Ezt követően a komló-apríték egy kalapácsos malomba kerül, ahol azt porrá őrlik. Ezt újabb homogenizációs lépés követi, az előzőekben említett okokból kifolyólag, amelyet pedig maga a pelletizáció követ. A porrá őrölt komlótobozokat gyakorlatilag adott lyukátmérőjű szitán préselik át. Fontos, hogy a szitaátmérő állítható, amelyet szükséges a fajtajelleg és a mért beltartalmi értékeknek megfelelően meghatározni.

A művelet befejezése az inert nitrogén-gázzal feltöltött kamrában, háromrétegű alufóliába történő vákuumcsomagolás és a késztermékek fagyasztása. Így a három minőséget negatívan befolyásoló körülményt – oxigén jelenléte, hőmérséklet és fény – a lehető legjobban kizárják. A gépsor teljes egésze temperálva van az alacsony hőmérséklet hozzájárul a tobozok értékes komponenseinek megőrzéséhez.



13. ábra: Leveles komló a pelletizálás előtt és komlópellet, mint késztermék
(Forrás: Internet 4)

2.5. Leveles komlók mai alkalmazása a hazai söriparban

Hazánkban, az 1980-as és 1990-es években még 550 hektár komlóültetvényen folyt termesztés, viszont 2011-re ez a szám már mindössze 5 hektárra csökkent. (Internet 5) Magyarország éghajlata – a globális felmelegedés hatására – melegebb, mint az a növény termesztésére ideális lenne. Ennek ellenére a legtöbb kisüzem kísérletezik saját mikroültetvényekkel úgy, mint Válon az Uradalmi Sörmanufaktúra, ahol amerikai nemesített fajták mellett még az újjáélesztett Bácskai, illetve a kísérleti Bólyi F-8-as magyar komlófajták is jelen vannak (Internet 6).

A számos mikroültetvény mellett pedig a Magyar Ökumenikus Segélyszervezet, a Heineken támogatásával kiegészülve 2016-ban nagyobb mértékű termesztésre szánt komlóültetvények telepítését kezdte el, amellyel egyik céljuk a magyar komlótermesztés újjáélesztése (Internet 5).

Leveles formában történő adagolást itthon legfőképp kisüzemi sörfőzdék és házi sörfőzők alkalmaznak; általában a szüret után legfeljebb 1-2 nappal készítenek úgynevezett „wet hop ale”-t, amely során nem szárítják a komlótozokat, hanem még nedves formában adagolják a sörléhez. Ez a módszer csak a szüretet azonnal követve működőképes, amely általában egy nagyon különleges szezonális terméket jelent.

Ahhoz, hogy évente többször is lehessen leveles komlóval dolgozni, szárítás szükséges, hogy tárolható legyen. Utóbbira is van kisüzemi példa, de – általában a tárolókapacitás kis méretéből adódóan – kevésbé jellemző. Nagyobb nemzetközi komlókereskedők palettáján megtalálható a szárított leveles komló, viszont a nagy minimális rendelési mennyiség, a pellethez képest magas ár, valamint az adekvát adagolás ismeretének és tapasztalatának hiányában használata túl magas rizikófaktort jelent.

A megfelelő tárolásnak többek között gazdasági haszna is jelentős lehet, tekintve, hogy a sörfogyasztás fő szezonja a nyári hónapokra tehető, amelyre az üzemek általában tavasszal kezdik meg a termékek gyártását. Ahhoz, hogy a leveles komlós termékeket főszezonban is értékesíteni lehessen, megfelelő szárításra, tárolásra és nem utolsósorban adagolási ismeretekre lenne szükség.

3. Alkalmazott módszerek

3.1. Anyagok

A minták Csulak Gergely mesteroktató budafoki mikroültetvényén termesztett, legfőképpen 2021-ben – a Comet és Fuggles esetében 2022-ben is - szüretelt szárított leveles komlótozok. A minták között egy amerikai és több európai komlófajta szerepel, a 6. táblázat szerint:

6. táblázat: Vizsgált komlófajták eredete
(Forrás: Internet 7 és 8 nyomán)

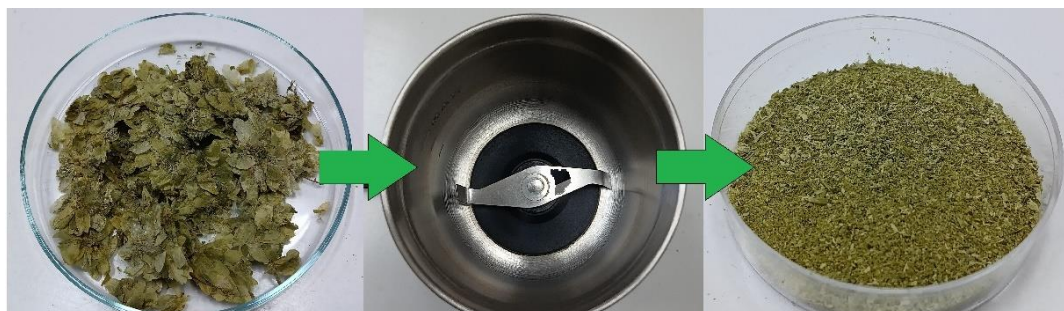
Bramling Cross	Egyesült Királyság
East Kent Golding	Egyesült Királyság
Hallertauer Mittelfrüher	Németország
Hersbrücker Pure	Németország
Saphir	Németország
Spalter	Németország
Spalter Select	Németország
Fuggles	Egyesült Királyság
Comet	Egyesült Államok

A komlózott sörlé keserűértékének vizsgálatához a sörlevet malátakivonat és csapvíz keverékéből készítettem, mindig 120 gramm extraktból és 1 liter vízből.

3.2. Módszerek

3.2.1. Mintaelőkészítés

A szárított leveles komlók vizsgálatához szükséges a minták őrlése, a homogenizálás és fizikai feltárás céljából. Laboratóriumi, kis mennyiségek révén erre egy egyszerű, háztartási – elsősorban – kávédaráló berendezést használtam, amely kellőképpen alkalmasnak bizonyult a komlótozok aprítására. Szemléltetésképpen az őrlés előtti és utáni minta állományát a 14. ábrán mutatom be.



14. ábra: Szárított leveles komló, az őrlőberendezés és az őrlés utáni komlódarálék
(Forrás: Saját fényképek)

3.2.2. Forralási kísérlet

A forralási hasznosulás megállapításához laboratóriumi körülmények között igyekeztem a komlóforralást, mint ipari-technológiai folyamatot modellezni, a tanszéken korábban végzett hasonló kísérletek alapján. A kísérleteknél négy „forralóüstnek” alkalmas Erlenmeyer lombikot használtam, amelyekbe egy-egy mintának az őrölt, illetve egész leveles formájában végeztem az adagolását. A forralással kapott komlózott sörlevek keserűértékét a 3.2.5. fejezetben ismertetett EBC 8.8 módszer szerinti határoztam meg.

Szükséges eszközök, berendezések:

- 1000 ml-es főzőpohár
- 1000 ml-es mérőhenger
- 4 db 1 literes Erlenmeyer lombik
- Mágneses keverő, keverőbabával
- Főzőlap
- 4 db üvegtölcsér
- Hővédelmi kesztyű
- Szűrőpapír



Mérés menete:

15. ábra: Forralási kísérlet
(Forrás: Saját fénykép)

1. 1000 ml csapvíz kimérése, mérőhengeres pontossággal
2. 120,0 gramm malátakivonat kimérése táramérlegen, 1 tizedesjegy pontossággal, 1000 ml-es főzőpohárba
3. A mérőhengerből 6-700 ml víz ráöntése a malátakivonatra, majd az inhomogén keverék feloldása mágneses keverő és keverőbaba segítségével
4. A teljes oldódást követően kész sörle beleöntése 1000 ml-es Erlenmeyer lombikba és a mérőhengerben maradt vízzel a főzőpohár falán maradt oldat átmosása a lombikba
5. A négy sörlevet tartalmazó lombik felhelyezése a főzőlapra, melegítés bekapcsolása
6. A komlómintákból táramérlegen 2,00 gramm kimérése, két tizedesjegy pontossággal
7. Amint a forralás elkezdődött, felírni az időt, percre pontosan, hogy mindegyikhez egyformán 5 perc elteltével tudjuk a mintákat adagolni (a lombikonként különböző időpontokban elért forráspont miatt mindegyik lombikba külön tudjuk végezni az adagolást)

8. Lombikonként 5 perc forrást követően komlóminták óvatos ($T=100^{\circ}\text{C}$) adagolása a forralás alatt lévő sörlevekhez, az adagolást követően a lombik szájára azonnal üvegtölcsér helyezése, a nagy párolgási veszteség gátlására
9. A sörlevek forralása komlóval 60 percig
10. A forralás befejeztével a lombikok levétele a főzőlapról, hővédelmi kesztyűvel ($T = 100^{\circ}\text{C}$)
11. Minták hűtése: a lombikok hideg vízbe helyezése
12. Keserűérték vizsgálat előtt a minták előszűrése szűrőpapíron, a szűrletből mérőhengerrel forralási térfogatveszteség megállapítása

3.2.3. Nedvességtartalom meghatározása

A szárított leveles komlók nedvességtartalmát AnD MX-50 gyors nedvességtartalom meghatározóval végeztem. A műszer halogén lámpával 105°C -on végzi a szárítást, tömegállandóságig.

Mérés menete:

1. Alufólia tányér belehelyezése a serpenyőbe, műszer tárazása
2. A tányérba 1-2 gramm komló minta egyenletes elhelyezése
3. A szárítás elindítása, százalékos érték leolvasása

3.2.4. Leveles komló alfa-sav tartalmának meghatározása (ASBC Hops-6)

A mérés során szilárd-folyadék extrakciót végzünk: toluol szerves oldószerrel a komlótozokban fellelhető alfa-savakat kivonatoljuk. Az extraktum először metanollal, majd alkalikus metanollal hígított formájának abszorbanciáját (fényelnyelését) vizsgáljuk, különböző hullámhosszúságokon. A mintákból 4 küvettából, párhuzamosan mértem az abszorbancia értéket.

Szükséges vegyszerek:

- Toluol
- Metanol
- Alkalikus metanol

Szükséges eszközök:

- Petri-csészék
- 100 ml-es mérőhenger
- Centrifugacsövek



16. ábra: Toluolos kivonatolás
(Forrás: Saját fénykép)

- Automata pipetták (1 és 5 ml-es)
- 250 ml-es csiszolatos Erlenmeyer lombikok, csiszolatos dugókkal
- 100 ml-es mérőlombikok, kupakkal
- 50-100 ml-es főzőpoharak
- 50 ml-es mérőlombikok, kupakkal
- 1 cm-es kvarc küvetták

Szükséges mérőműszerek, berendezések:

- Táramérleg
- Sík rázógép
- Centrifuga
- Spektrofotométer



17. ábra: Az extraktumok centrifugálás után
(Forrás: Saját fénykép)

Mérés menete:

1. Toluol és metanol előkészítése
2. Alkalikus metanol elkészítése: 1 ml 6N NaOH + 500 ml metanol
3. Mintákból több, mint 5,00 gramm kimérése Petri-csészébe (adott esetben minták őrlése, homogenizálása)
4. Komlómintákból 5,0-5,0 gramm kimérése táramérlegen 250 ml-es Erlenmeyer lombikba, egy tizedesjegy pontossággal
5. 100 ml Toluol kimérése mérőhengeres pontossággal és ráöntése a mintákra
6. A kivonatolás katalizálásának érdekében a lombikok sík rázógépben történő rázatása 200 rpm fordulatszámon, 30 percig
7. Extraktumok átöntése centrifugacsövekbe, ülepítés 3000 rpm fordulatszámon, 10 percig
8. Centrifugacsövek óvatos mozgatásával a felülúszókból 5-5 ml kipipetázása 100 ml-es mérőlombikokba, jelre töltés metanollal és homogenizálás
9. A törzsoldat átöntése 50 ml-es főzőpoharakba, a pipetázás egyszerűsítése végett
10. A metanolos törzsoldatból 3-3 ml kipipetázása 50 ml-es mérőlombikokba, jelre töltés alkalikus metanollal és homogenizálás (ettől a lépéstől fogva az oldat fényérzékeny)
11. Vak oldat elkészítése (mivel fényérzékeny, ezért az első spektroszkopikus vizsgálat előtt közvetlenül): 5 ml toluol kipipetázása 100 ml-es mérőlombikba, metanollal jelre töltés és homogenizálás, majd a kapott törzsoldatból 3 ml átpipetázása 50 ml-es mérőlombikba, alkalikus metanollal jelre töltés és homogenizálás, végül az 50 ml-es lombik alufóliába történő becsomagolása (fénytől való elzárás)

12. A vak minta átpipettázása egy darab 1 cm-es kvarcküvetába (belehelyezés a spektrofotométer első küvetatartójába)
13. Az alkalikus metanollal készült törzsoldat átöntése 1 cm-es kvarc küvetákba, azok belehelyezése a spektrofotométer következő celláiba (2-5)
14. Abszorbanciavizsgálat spektrofotométerrel 275, 325 és 355 nanométeren
15. Képlet az alfa-sav tartalom meghatározásához:

$$\alpha\text{-sav tartalom (\%)} = 0,667 \cdot (-51,56 \cdot A_{355\text{nm}} + 73,79 \cdot A_{325\text{nm}} - 19,07 \cdot A_{275\text{nm}})$$



18. ábra: Hígítási sor alfa-sav tartalom meghatározásához
(Forrás: Saját fénykép)

3.2.5. Komlózott sörlé keserűértékének meghatározása (EBC 8.8)

A mérés során a sörlében forralással termikusan izomerizált alfa-savak, azaz izo-alfa-savak mennyiségét tudjuk megállapítani. A folyadék-folyadék extrakció izooktán poláris oldószerrel történik, sósav biztosította savas közegben, az abszorbanciát 275 nanométeren mérjük.

Szükséges vegyszerek: kovaföld, 6N HCl oldat, izooktán

Szükséges mérőműszerek, berendezések: táramérleg, sík rázóógép, centrifuga, spektrofotométer

Szükséges eszközök:

- 100 ml-es Erlenmeyer lombikok
- Tölcsérek
- Szűrőpapír
- Centrifugacsövek
- Automata pipetták (1 és 5 ml-es)
- Kvarc küveták

Mérés menete:

1. A szobahőmérsékletűre hűtött (és előszűrt) minták kovaföldes szűrése 100 ml-es Erlenmeyer lombikokba: tölcserbe szűrőpapír hajtogatása és fél kávéskanálnyi kovaföld szűrőpapírra öntése, majd maga a szűrés
2. A szűrletekből a centrifugacsövekbe 10-10 ml kimérése automata pipettával
3. 0,5-0,5 ml 6N sósav pipettával történő hozzáadása és mérőhengerrel 20-20 ml izooktán kimérése és hozzáadása, centrifugacsövenként 2-3 üveggyönggyel együtt
4. A centrifugacsövek intenzív rázása, kézzel, legalább 15 percig
5. Az alaposan összerázott minták centrifugálása 10 000 fordulat/perc fordulatszámon, 10 percig
6. A centrifugálás következtében elvált folyadékkomponensek felülúszójából 1 cm-es kvarc küvettákba történő átpipettázás
7. A felülúszó abszorbancia-értékének mérése spektrofotométerrel, 275 nanométeren
8. Az alábbi képlet alapján megkapjuk az egy literben izomerizált alfa-savak mennyiségét milligrammban (EBC egység), amely a sörlé keserűértéke

$$EBC \text{ egység (mg izo-}\alpha\text{-sav/l)} = A_{275nm} \cdot 50$$

3.2.6. Sörlé extrakttartalom meghatározás

A sörlé vízzel oldható szárazanyagtartalmát, azaz extrakttartalmát Anton Paar Beer Alcolyzer Plus műszerrel vizsgáltam. A söranalizátor egy oszcilláló U-csöves denzitométerből és egy NIR (közel infravörös) tartományban működő, nagy felbontású spektrofotométerből áll. Tekintettel arra, hogy a sörleveknek nincs alkoholtartalma, a mérések során gyakorlatilag csak a sűrűségmérőt alkalmaztam. A mérés menete igen egyszerű, a kovaföldön szűrt sörleveket injekciós tűvel szívтам fel, majd – légtelenítést követően – a gép bemeneti nyílásába kb. 20 millilitert engedtem bele. A berendezés 20°C-ra temperál, majd a rezgésszám alapján megállapítja – többek között - annak vízre vonatkoztatott relatív sűrűségét, 5 tizedesjegy pontossággal.

3.2.7. Sörlé pH mérés

A mérést egy elektromos, automata pH-mérővel végeztem, amely 4,0 és 7,0 pH-ra történő kalibrálást követően nagyon gyorsan és pontosan adja meg a mért oldat kémhatását. A mérőelektroda a kalibrációt követően és a mérések között egyaránt alapos desztillált vízzel történő mosást igényel. A műszer két tizedesjegy pontossággal adja meg a – jelen esetben – sörlevek pH értékét, nagyjából fél perc alatt.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Leveles komlók őrlésének hatása alfa-sav tartalomra

4.1.1. 2021-es minták vizsgálata őrlés nélkül

Első vizsgálatom során 2021-es szüretelésű szárított leveles komlóminták keserűsav-tartalmát állapítottam meg. A méréshez a tobozok őrlés nélkül, egész növényrészekként kerültek toluolos kivonatra. Az eredményeket a 7. táblázat tartalmazza, az irodalmi határértékekkel együtt.

7. táblázat: Vizsgált komlófajták mért alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve
(Forrás: Saját mérési eredmények, Internet 7 és 8 nyomán)

Komlófajta	Alfa-sav tartalom (%)		
	Mért eredmény	Irodalmi minimum	Irodalmi maximum
Bramling Cross	2,13	5	7,8
East Kent Golding	2,00	4,5	6,5
Hallertauer Mittelfrüher	1,37	3	5,5
Hersbrücker Pure	1,92	4,7	6
Saphir	1,43	2	4,5
Spalter	2,18	2,5	5,5
Spalter Select	2,32	3	6,5

A határértékek az egyik legnagyobb komlóforgalmazó, a Yakima Chief Hops hivatalos weboldaláról (Internet 7), illetve a Bramling Cross és Hersbrücker Pure esetében a Hopslip oldaláról (Internet 8) származnak. A Yakima kínálatában – a szokásos komlókészítmények mellett - elérhetőek szárított leveles fajták is (Internet 7). Mivel a vizsgált fajták már egy éves tároláson voltak túl, számítottam a viszonylag alacsony eredményre. A vizsgálatot 2022. novemberében végeztem.

Annak ellenére, hogy a mintákat 0°C körüli hőmérsékleten, vákuumsomagolásban tárolták, az irodalmi értékekhez képest meglepően alacsony eredményeket kaptam. Ez az eredmény hívta fel figyelmem arra, hogy a komlók különösebb szabályzás nélkül, otthoni körülmények között estek át a szárításon, így szükségesnek tartottam a nedvességtartalom vizsgálatát. Az eredményeket a következő fejezetben ismertetem (4.1.2).

4.1.2. Korrekció 10%-os nedvességtartalomra

A szárított komlótobozok nedvességtartalmát számos szakirodalomban 10% körüli értéként adják meg, valamint a pelletizálást megelőző szárításnak célja, hogy e határérték alá csökkentsék azt (Almaguer *et al.*, 2014; Rybka *et al.*, 2018; Sanz *et al.*, 2019). Az előző fejezetben (4.1.1) megemlített komlóforgalmazó oldalán is a szárított leveles termékekre vonatkozó adatoknál 8,5-10,5%-os nedvességtartalmat tüntetnek fel (Internet 7).

Az alfa-sav tartalmat tömegszázalékban szokás megadni, de – mivel a felhasználók az alkalmazás során magával a termék tömegével és hatóanyagtartalmával kalkulálnak – nem szárazanyagra, hanem a teljes tömegre viszonyítva. Az én esetemben viszont ahhoz, hogy összehasonlítást végezzem, ismernem kell a minták nedvességtartalmát, tekintve, hogy az otthoni körülmények közötti szárítás nem feltétlen optimális és a végleges nedvességtartalomról információom nem volt. Tehát következő vizsgálatom során gyors nedvességtartalom meghatározó segítségével megmértem a fajták nedvességtartalmát. Az eredményeket a 8. táblázatban szemléltetem. Ezt és a következő vizsgálatot (4.1.3.) 2022 decemberében végeztem.

8. táblázat: Vizsgált komlótobozok nedvességtartalma
(Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajta	Nedvességtartalom (%)
Bramling Cross	14,12
East Kent Golding	13,95
Hallertauer Mittelfrüher	23,95
Hersbrücker Pure	30,76
Saphir	17,68
Spalter	17,23
Spalter Select	13,63

Az eredményeket figyelembe véve beigazolódott, hogy a minták az optimálisnál magasabb nedvességtartalommal bírnak. Ezen túl pedig egymástól is igen eltérőnek bizonyultak. Élelmiszeriparban a különböző beltartalmi értékeket sokszor szárazanyagra vonatkoztatva tüntetik fel – többek között malátaminősítésnél is. Ebben az esetben azonban az irodalmi értékekkel való helyes összevetéshez a korrekciót 10%-os nedvességtartalomra vonatkoztatva tartottam adekvát megoldásnak.

A kalkulációt az alábbiak szerint hajtottam végre:

$$C_{alfa\ k.} = \frac{SZ_{irodalmi} * C_{mért}}{SZ_{mért}} = \frac{(100 - N_{irodalmi}) * C_{alfa\ mért}}{(100 - N_{mért})} = \frac{90 * C_{alfa\ mért}}{(100 - N_{mért})}$$

Ahol:

- $C_{alfa\ korr.}$ = 10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalom (%)
- $SZ_{mért}$ = Irodalmi szárazanyagtartalom (%)
- $C_{alfa\ mért}$ = Mérések alapján meghatározott alfa-sav tartalom (%)
- $N_{irodalmi}$ = Irodalmi nedvességtartalom, azaz 10 (%)
- $N_{mért}$ = Méréssel meghatározott nedvességtartalom (%)

Például a Hersbrücker Pure fajtánál az alábbiak szerint számoltam:

$$C_{alfa\ k.} = \frac{90 * C_{alfa\ mért}}{(100 - N_{mért})} = \frac{90 * 1,92}{(100 - 30,76)} = 2,50 \%$$

A leírt számítással újrakalkulált eredményeket az alábbi (9.) táblázatban mutatom be.

9. táblázat: A minták 10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalom
(Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajta	Alfa-sav tartalom (%)	Nedvességtartalom	10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalom (%)
Bramling Cross	2,13	14,12%	2,23
East Kent Golding	2,00	13,95%	2,09
Hallertauer Mittelfrüher	1,37	23,95%	1,62
Hersbrücker Pure	1,92	30,76%	2,50
Saphir	1,43	17,68%	1,56
Spalter	2,18	17,23%	2,37
Spalter Select	2,32	13,63%	2,41

Az újonnan kapott eredményeket az 10. táblázatban ismét összehasonlítom irodalmi értékekkel. Bár az adatok jobban közelítenek az elvárt eredményekhez, jelentős különbséget a nedvességtartalommal kapcsolatos korrekció nem hozott. Ebből kifolyólag kezdtem el dolgozni a módszer alkalmazásának további újragondolásán, amelyet a következő fejezetben (4.1.3) ismertetek. A dolgozat további részében az alfa-sav tartalmi értékek mind 10%-ra vonatkoztatva értendők.

10. táblázat: A komlófajták 10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 és 8 nyomán)

Komlófajta	Alfa-sav tartalom (%)		
	Mért eredmény	Irodalmi minimum	Irodalmi maximum
Bramling Cross	2,23	5	7,8
East Kent Golding	2,09	4,5	6,5
Hallertauer Mittelfrüher	1,62	3	5,5
Hersbrücker Pure	2,50	4,7	6
Saphir	1,56	2	4,5
Spalter	2,37	2,5	5,5
Spalter Select	2,41	3	6,5

4.1.3. Kísérlet ismétlése őrlés alkalmazásával

Az ismételt mérés során egy egyszerű őrlő berendezéssel feltártam a mintákat, felületnövelés és homogenizálás céljából. Ez alkalommal az eredmények jobban közelítettek az irodalomban található értékekhez (11. táblázat). Hét mintából három érték esett a várt tartományba, viszont a négy alacsonyabb alfa-savtartalmú minta sem mutatott olyan mértékű eltérést, mint az előbbieken. Ezen eltérések oka valószínűleg a több mint egy éves tárolás.

11. táblázat: Őrlés után vizsgált komlófajták mért alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 és 8 nyomán)

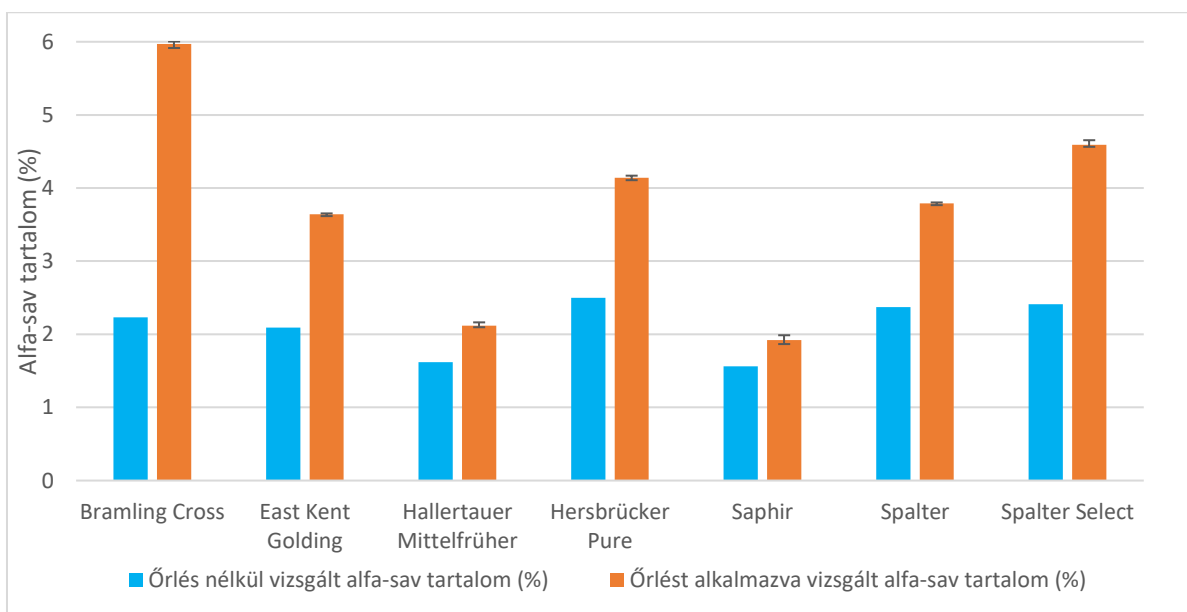
Komlófajta	Irodalmi minimum alfa-sav tartalom (%)	Mért alfa-sav tartalom (%)	Irodalmi maximum alfa-sav tartalom (%)
Bramling Cross	5	5,97±0,034	7,8
East Kent Golding	4,5	3,64±0,013	6,5
Hallertauer Mittelfrüher	3	2,12±0,043	5,5
Hersbrücker Pure	4,7	4,14±0,029	6
Saphir	2	1,92±0,067	4,5
Spalter	2,5	3,79±0,013	5,5
Spalter Select	3	4,59±0,064	6,5

Az adatokat egymással összevetve már a 12. táblázatban és a 19. ábrán is szemmel látható differencia figyelhető meg. A szórás nem mutatkozott annyira számottevőnek, hogy hibára adjon okot. A különbség statisztikai ténylegességére kétmintás párosított t-próbát alkalmaztam várható értékre, amely eredménye szintén szignifikáns különbséget mutat ($p < 0,01$). A különbségen túl egyértelmű, hogy az őrlés alkalmazásával kapott mintasokaságot nagyobb várható érték jellemzi.

Felvetődött bennem, hogy amennyiben a keserűérték-vizsgálatnál jobb az őrlött komlóminták alfa-savak tartalmának kimutathatósága, akkor feltehetőleg forralásnál is jobban hasznosulnak a keserűsavak azon komlókból, amelyek őrlésen esnek át. Ez adott okot a sörgyártási technológiához közelebb álló vizsgálatok, azaz a forralási kísérletek elvégzésére, melyek eredményeit a következő fejezetekben (4.2.2, 4.2.3.) mutatom be.

12. táblázat: Őrlés nélkül és őrléssel vizsgált alfa-sav tartalom komlófajtánként
(Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajta	Őrlés nélkül vizsgált alfa-sav tartalom (%)	Őrlést alkalmazva vizsgált alfa-sav tartalom (%)
Bramling Cross	2,23	5,97±0,034
East Kent Golding	2,09	3,64±0,013
Hallertauer Mittelfrüher	1,62	2,12±0,043
Hersbrücker Pure	2,50	4,14±0,029
Saphir	1,56	1,92±0,067
Spalter	2,37	3,79±0,013
Spalter Select	2,41	4,59±0,064



19. ábra: Szárított leveles komlók őrlésének hatása az alfa-sav tartalom vizsgálatra
(Forrás: Saját mérési eredmények)

4.2. Leveles komlók őrlésének hatása a forralási hasznosulásra, illetve évjáratbeli különbségek vizsgálata

Az eredmények összehasonlíthatósága érdekében a sörlevek pH-ját és extrakttartalmát a forralás után is ellenőriztem. A minták relatív sűrűségei – 20°C-os vízre vonatkoztatva - 1,046 és 1,050 közé estek. Ez leegyszerűsíti a sörle keserűértékének számítását, mivel, amennyiben a forralás utáni sörle 1,050-nál nagyobb relatív sűrűségű, akkor korrekciós tényező alkalmazása lenne szükséges (Daniels, 2000). A figyelmen kívül hagyható eltérések a különböző intenzitású forralások párolgási veszteségeiből adódnak. A pH érték pedig 5,71 és 5,83 között mozgott. A minimális eltérés egyrészt az előbb említett okoknak, másrészt a különböző komlóknak tulajdonítható. Egyik sem ad okot további kalkulációra.

4.2.1. Egy töről szüretelt, különböző évjáratú minták alfa-sav tartalma

Az előző kísérleti ciklust (november-december) követően 2023. februárjában TDK Műhelyünk újabb, eltérő fajtájú mintákkal gazdagodott. A következő fejezetekben több tényezőt vizsgálók, amelyekhez az újabb mintákat választottam. Első lépésben (2023 februárjában) az újabb fajták alfa-sav tartalmát állapítottam meg, az eredményeket természetesen őrlést alkalmazva és 10%-os nedvességtartalomra vonatkoztatva tüntetem fel a 13. táblázatban.

13. táblázat: Eltérő évjáratú Comet és Fuggles komlók alfa-sav tartalma, irodalmi hatáértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 nyomán)

Komlófajta	Mért alfa-sav tartalom (%)	Irodalmi minimum alfa-sav tartalom (%)	Irodalmi maximum alfa-sav tartalom (%)
2021-es szüretelésű Comet	9,72±0,137	8	10,5
2022-es szüretelésű Comet	7,79±0,142		
2021-es szüretelésű Fuggles	3,41±0,039	3	6
2022-es szüretelésű Fuggles	3,01±0,115		

Az eredmény ebben az esetben kielégítő volt, három komlóminta beleesett a várt tartományba, valamint a 2022-es Comet is jól közelítette az alsó hatáértéket. A táblázatból kiolvasott adatok alapján egy újabb szempontra is felfigyeltem, amely nem más, mint az évjáratok közötti különbség, amelyet a 4.2.3. fejezetben részletezem.

4.2.2. Őrlés

Az őrlés jelentős hatása az alfa-sav tartalom vizsgálatokra indokolta, hogy ezen egyszerű technológiai lépés további vizsgálatait folytassam, immár a technológiát laboratóriumi léptékben modellez forralási kísérletek segítségével.

Három kísérletet végeztem a 3.2.3. fejezet szerint leírtaknak megfelelően. Egy kísérlettel egy-egy fajtát vizsgáltam, az adagolást megelőzően őrlés alkalmazásával és anélkül. A Spalter Select fajtát két különböző mérési napon is megmértem, hogy a módszer alkalmazásának esetleges hibáját leellenőrizsem.

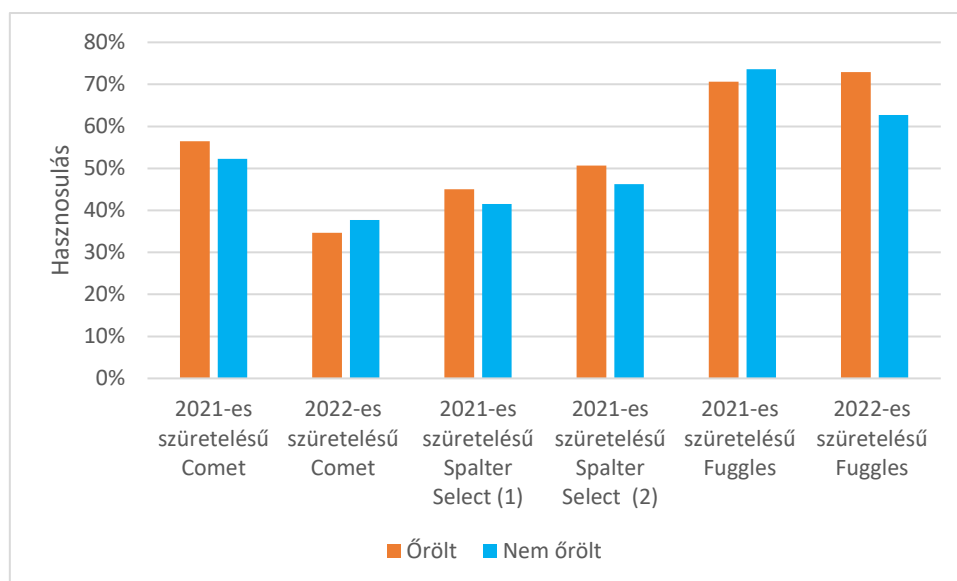
A sörlevek keserűértékét EBC egységben szokás meghatározni, amely a literenként oldott izo-alfa-sav mennyiségét adja meg, milligrammban. A forralási hasznosuláshoz az EBC 8.8 módszer szerint kapott oldott izo-alfa-sav mennyiséget viszonyítom a literenként összes hozzáadott alfa-sav mennyiségéhez. Ezt korrigálom továbbá a kész sörle mennyiségére vonatkoztatva, amely a forralás párolgásából kifolyólag, intenzitástól függően 850 és 990 ml közé esett. Azt, hogy az összes hozzáadott alfa-savból mennyi hasznosult a termikus izomerizáció során, az 14. táblázatban mutatom be.

14. táblázat: Őrlés és őrlés nélkül alkalmazott komlóminták alfa-sav tartalmának hasznosulása forralás következtében (Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Hasznosulás őrlés nélkül	Hasznosulás őrléssel
2021-es szüretelésű Comet	52,26%	56,49%
2022-es szüretelésű Comet	37,73%	34,70%
2021-es szüretelésű Spalter Select (1)	41,50%	45,04%
2021-es szüretelésű Spalter Select (2)	46,24%	50,65%
2021-es szüretelésű Fuggles	73,59%	70,61%
2022-es szüretelésű Fuggles	62,70%	72,91%

Az eredmények már önmagukban beszédeseek, az őrlés alkalmazása nem korrelál a hasznosulással. Az eredményeket a 20. ábrán szemléltetem, amelyen még látványosabb, hogy nincs összefüggés az őrölt és nem őrölt minták között. A statisztikai elemzés során végzett t-próba is ezt mutatta ki ($p > 0,05$).

A kísérlet közben feltűnő volt, hogy pár perc forralás után az egészben vizsgált (azaz nem őrölt) komlótobozok leveleikre estek szét, tehát a forralás folyamatával járó intenzív folyadékmozgás következtében az anyag fizikai feltárása tulajdonképpen megtörtént. Ilyen jellegű változást a keserűsav-kísérleteknél nem tapasztaltam, a rázógép hatására a tobozok ily mértékben nem váltak szét, hiszen a lépésnek ez nem is célja. Tehát véleményem szerint alfa-sav tartalom vizsgálat szempontjából érdemes a tobozok őrlése, viszont a technológiai alkalmazást (forralást) tekintve, a gyakorlatban nem eredményez magasabb hasznosulási értéket.



20. ábra: Őrlés és őrlés nélkül alkalmazott komlóminták alfa-sav tartalmának hasznosulása forralás következtében (Forrás: Saját mérési eredmények)

4.2.3. Évjáratbeli különbségek

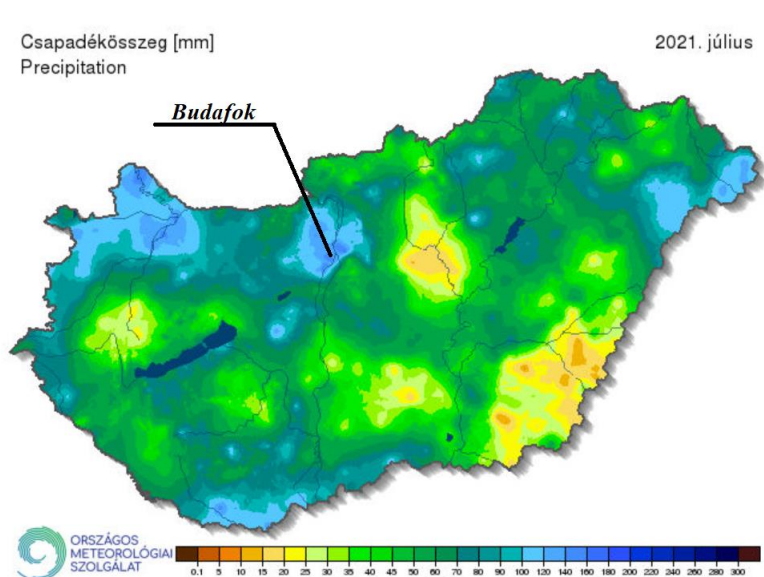
A 9. táblázatban jól megfigyelhető, hogy a 2021-es Comet és Fuggles minták – még az egy évvel hosszabb tárolást követően is – magasabb alfa-sav tartalommal rendelkeztek, mint az egy évvel frissebb szüretelésűek. Továbbá a 14. táblázatban látszik, hogy a 2022-es minták hasznosulásának mértéke is alacsonyabb volt, mint az egy évvel korábban szüreteltéknek. Ezen minták egy töröl szüreteltek, így valószínűnek tartottam, hogy az eltérést az adott évek időjárásbeli különbségei okozhatták.

MacKinnon és munkatársai (2020) az időjárási körülmények hatását vizsgálták komló alfa-sav tartalmára. Vizsgálták a hőmérsékletet, napfénytartamot, csapadékmennyiséget és a relatív páratartalmat. Az befolyásoló tényezők alfa-sav tartalomra vonatkoztatott hatását 1994-től 2019-ig, minden évben áprilistól augusztus hónapokig (komló érési időszaka) feljegyzett adatok függvényében elemezték. A vizsgált minta Aurora típusú, 11% nedvességtartalmú leveles komló volt. Statisztikailag a Pearson-együtthatókat vizsgálták.

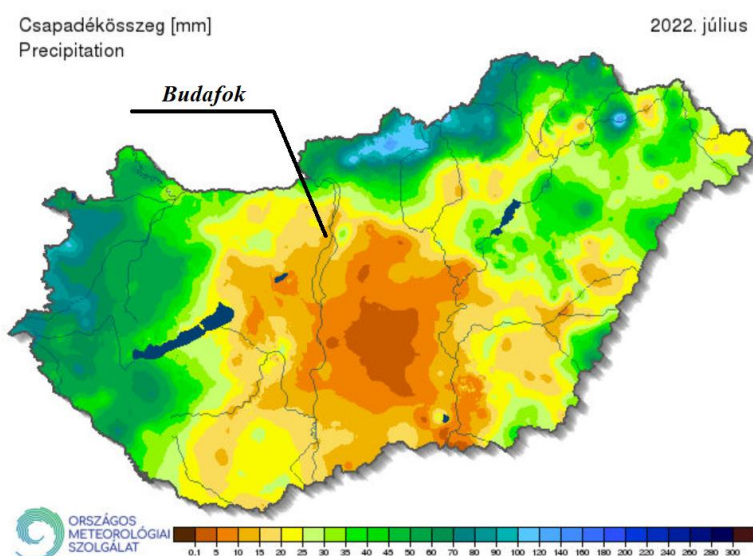
A szerzők kimutatták, hogy a júliusi átlaghőmérséklet ($r = -0,71$ és $p < 0,01$) és a napfénytartam ($r = -0,74$ és $p < 0,01$) is fordítottan arányos a komló alfa-sav termelésével. A júniusi-júliusi csapadékmennyiség pedig egyenesesen arányos ($r = 0,74$ és $p < 0,01$). A legmagasabb korrelációt a júliusi-augusztusi relatív páratartalom mutatta, szintén egyenes aránnyal ($r = 0,80$ és $p < 0,01$). (MacKinnon *et al.*, 2020)

A következőkben ismertetett adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) hivatalos oldaláról származnak (Internet 9).

2021 és 2022 a napfénytartam és hőmérsékleti adatok szempontjából nem mutatnak nagy eltérést, a relatív páratartalomról pedig nem érhető el adat. A július havi csapadékmennyiség viszont jelentős eltérést mutat a két évben. Ezt az OMSZ 2021 júliusra vonatkozó havi összefoglalójában is olvashatjuk: „A lehulló csapadék Budapest környékén és a Győri-medence térségében haladta meg legjobban az 1991-2020-as átlagot. Ezeken a tájakon helyenként a sokévi átlag 200%-a hullott le júliusban.” (Internet 9)



21. ábra: 2021. júliusi csapadékösszeg (mm) Magyarországon
(Forrás: Internet 9 nyomán)



22. ábra: 2022. júliusi csapadékösszeg (mm) Magyarországon
(Forrás: Internet 9 nyomán)

Az általam vizsgált minták egy budafoki ültetvényről származnak. A 21. és 22. ábrán a 2021-es és 2022-es júliusi csapadékmennyiségeket (mm) láthatjuk Magyarország térképén, Budafok földrajzi megjelölésével. A térképekről jól kiolvasható, hogy 2021. júliusában 140-150 mm, 2022-ben viszont csak 10-15 mm csapadék esett ebben a térségben. A mintáim évjáratbeli különbségét feltehetőleg a 2021. júliusi intenzív csapadékmennyiség okozta.

4.3. Leveles komlók alfa-sav tartalmának csökkenése 0 °C-on, fény elől elzárva, vákuumzacskóban tárolva

4.3.1. A nedvességtartalom változása

A vizsgálatok során igyekeztem a mintavételezést követően a fennmaradó komlókat minél hamarabb újra légmentesen lezárni és hűtött körülmények (~0°C) közé helyezni, ezzel az oxigénnel való érintkezés és a melegebb hőmérséklet okozta degradációt mérsékelni.

A 2.3.2. fejezetben bemutatott, Canbaş és munkatársai (2001) által végzett kísérletek alapján a vákuumzacskóban vizsgált komlópelletek nedvességtartalma alig változott, minimálisan nőtt vagy csökkent. Az 16. táblázatban a saját méréseim alapján hasonló eredményeket kaptam, illetve a nedvességtartalom csökkenése inkább bizonyult jellemzőnek, tehát a minta tovább száradt. Ez valószínűleg a komlópelletekre jellemző értékeknél (6-8%) nagyobb nedvességnak tudható be. Egy kiugró mérést tapasztaltam a Spalter esetében, amely nedvességtartalma majdnem kétszeresére nőtt. Ezt mérési hibaként könyvelem el.

15. táblázat: Szárított leveles komlók nedvességtartalmának változása vákuumcsomagolásban, 0°C-on, 6 hónapig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Kezdeti nedvességtartalom (2022.12.07.)	Tárolás utáni nedvességtartalom (2023.06.07.)	Változás
Bramling Cross	14,12%	9,90%	-4,22%
East Kent Golding	13,95%	15,23%	+1,28%
Hallertauer Mittelfrüher	23,95%	22,89%	-1,06%
Hersbrücker Pure	30,76%	32,14%	+1,38%
Saphir	17,68%	11,89%	-5,79%
Spalter	17,23%	37,55%	+20,32%
Spalter Select	13,63%	10,46%	-3,17%

A munka második periódusában vizsgált komlók nedvességét is megvizsgáltam, az eredményeket a 17. táblázat tartalmazza. A Fuggles típusú komlók eltérése elfogadható, azonban a Comet szélsőséges száradása nem várt eredmény volt, amelyet ebben az esetben feltehetőleg az inhomogén mintaösszetétel okozott. További lehetőségnek vélem azt is, hogy a fajtajellegre jellemző zárt toboz szerkezet belsejében lévő nagyobb nedvesség a tárolási idő alatt a külső száraz levelekkel kiegyenlítődött és a csomagolás felbontásakor ez a nedvesség könnyebben elillant.

Összeségében a minták nedvességtartalom-változása nem mutat egyértelmű korrelációt és nem függ a kezdeti nedvességtartalomtól ($p > 0,05$). Véleményem szerint a felfebb említett fajtajelleg elsőfokú befolyásoló tényező lehet.

16. táblázat: Szárított leveles komlók nedvességtartalmának változása vákuumcsomagolásban, 0°C-on, 15 hétig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Kezdeti nedvességtartalom (2023.02.27.)	Tárolás utáni nedvességtartalom (2023.06.07.)	Változás
2021-es szüretelésű Comet	31,50%	12,54%	-18,96%
2022-es szüretelésű Comet	31,59%	16,40%	-15,19%
2021-es szüretelésű Fuggles	17,43%	14,63%	-2,80%
2022-es szüretelésű Fuggles	26,42%	32,61%	+6,19%

4.3.2. Az alfa-sav tartalom csökkenés mértéke 6 hónap elteltével

A 2.3.3. fejezetben egy egyszerű példával bizonyítottam be és indokoltam az alfa-sav veszteség számításához leginkább alkalmas módszert. A saját eredményeim alapján szeretném ismételtten bemutatni, hogy miért az általam választott módszert tartom helyesnek. A számítást a 17. táblázatban látható Bramling Cross és Saphir fajtákkal végzem. Egyszerűség kedvéért 6 hónapra vonatkoztatott teljes veszteséggel, mivel mindkét minta azonos ideig volt tárolás alatt.

1. Számítási módszer (Skinner *et al.*, 1977 nyomán)

Bramling Cross alfa-sav vesztesége = 0,98% (5,97-4,99%)

Saphir alfa-sav vesztesége = 0,66% (1,92-1,26%)

Ezek az adatok mutatják, hogy mennyivel kevesebb alfa-savat tudunk a sörléhez adagolni, adott komlómennyiség esetén.

2. Számítási módszer (Canbaş *et al.*, 2001; Srećec *et al.*, 2008; Taniguchi *et al.*, 2013 nyomán)

Bramling Cross alfa-sav vesztesége kezdeti alfa-sav tartalomra vonatkoztatva =16% (0,98/5,97)

Saphir alfa-sav vesztesége kezdeti alfa-sav tartalomra vonatkoztatva = 34% (0,66/1,92)

Ezen eredmények szerint a Saphir - az eredeti tömegéhez képest – több mint kétszer akkora degradáción ment keresztül, mint a Bramling Cross, pedig utóbbi esetében majdnem másfélszer akkora alfa-savat veszítettünk, mint a Saphir esetében (0,98/0,66).

Összegzés:

Az utóbbi számítás azért tudja ilyen mértékben befolyásolni az adatokat, mert a kezdeti alfa-sav tartalmuk merőben eltér.

A valódi veszteségünk azonban az első számítás szerinti tömegszázalékbeli veszteség, főleg amennyiben figyelembe vesszük, hogy az alfa-sav degradáció időben lineáris, és a kezdeti alfa-sav tartalom mértéke nem befolyásoló tényező, tehát a veszteséget én is a Skinner és munkatársai (1977) által alkalmazott módszerhez hasonlóan, a tömegszázalék csökkenésének mértékével adom meg.

Az elsőként vizsgált hét mintát pontosan 6 hónapig, azaz 26 hét tárolás, a kutatás második periódusában kapott komlófajtákat pedig 15 hét tárolás után vizsgáltam. Az alfa-sav veszteséget az 18. és 19. táblázatokban ismertetem.

17. táblázat: Száritott leveles komlók alfa-sav tartalmának változása vákuumcsomagolásban, 0°C-on, 6 hónapig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Kezdeti alfa-sav tartalom (%) szórással (2022.12.07.)	Tárolás utáni alfa-sav tartalom (%) szórással (2023.06.07.)	Változás (%)	Változás / hét (%)
Bramling Cross	5,97±0,034	4,99±0,047	-0,98	-0,041
East Kent Golding	3,64±0,013	3,61±0,044	-0,03	-0,001
Hallertauer Mittelfrüher	2,12±0,043	1,74±0,052	-0,38	-0,016
Hersbrücker Pure	4,14±0,029	3,82±0,034	-0,32	-0,013
Saphir	1,92±0,067	1,26±0,105	-0,66	-0,028
Spalter	3,79±0,013	5,18±0,092	+1,39	+0,058
Spalter Select	4,59±0,064	3,29±0,040	-1,3	-0,054

18. táblázat Szárított leveles komlók alfa-sav tartalmának változása vákuumcsomagolásban, 0°C-on, 15 hétig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Kezdeti alfa-sav tartalom (%) szórással (2023.02.26.)	Tárolás utáni alfa-sav tartalom (%) szórással (2023.06.07.)	Változás (%)	Változás / hét (%)
2021-es szüretelésű Comet	9,72±0,137	6,48±0,081	-3,24	-0,216
2022-es szüretelésű Comet	7,79±0,142	5,92±0,065	-1,87	-0,125
2021-es szüretelésű Fuggles	3,41±0,039	3,43±0,037	+0,01	+0,001
2022-es szüretelésű Fuggles	3,01±0,115	2,79±0,045	-0,22	-0,015

A Canbaş és munkatársai (2001) által végzett kutatás során a vákuumcsomagolásban tárolt komlópelletek alfa-sav veszteségei 3-5°C-on heti 0,024 és 0,053% közé estek. Az általam vizsgált minták tárolása szintén fény elől elzárva, vákuumcsomagolásban, 0°C-on – három kiugró eredményt kivéve – 0,013 és 0,216 közötti alfa-sav degradációt okozott. A három hibás eredmény közül az East Kent Golding és a 2021-es szüretelésű Fuggles nem mutatott változást ($\pm 0,001$), a Spalter pedig – feltehetőleg a 4.3.1. fejezetben ismertetett drasztikus nedvességtartalom növekedés következtében végzett helytelen korrekció alfa-sav tartalom emelkedést mutatott, ami nem lehetséges.

Az East Kent Golding és a Fuggles alfa-sav degradációjának hibája valószínűleg annak tulajdonítható, hogy maguk a minták a tárolás előtt nem lettek teljes egységükben homogenizálva, őrölve. A Spalter esetében pedig szinte biztos, hogy ezt a hibás nedvességtartalom mérés általi korrekció okozza, amely ismét abból következhet, hogy a két mérés során teljesen eltérő tobozokat vizsgáltam, tehát az inhomogén tárolásból.

A nedvességtartalmukban hasonló változással járó (-15 és -19%) Comet fajták a jellemző változáshoz képest ($\pm 5\%$) nagyobb mértékben száradtak. Az alfa-sav tartalom veszteségük (0,125 és 0,216% egy hétre vonatkoztatva) is nagyobb mértékű volt a többi mintához képest (0,013 és 0,054% között, egy hétre vonatkoztatva). A hasonlóan kiugró eredményeket a fajtajellegnek tulajdonítanám.

4.3.3. Az alfa-sav degradáció és a nedvességtartalom összefüggése

Az élelmiszeriparban a hosszabb tárolhatóság/eltarthatóság érdekében végzett szárítást egyrészt azért végzik, hogy az alacsonyabb nedvességtartalommal vagy vízáktivítással rendelkező anyagok tovább megőrizték beltartalmi értékeiket, valamint mikrobiológiai stabilitásukat is fenntartsák.

Ez a komlókra hasonlóképpen igaznak tekintendő, hiszen – ahogy azt már 2.4.2. fejezetében is ismertettem - a frissen szüretelt komlók 75-80%-os nedvességtartalma nem csak a komló kémiai összetételének gyors romlását, hanem még a penészedést is előidézheti (Almaguer *et al.*, 2014).

Kutatásom során, amikor szembesültem mintáim eltérő nedvességtartalmával, feltételeztem, hogy ez ebben az esetben is beigazolódik. A minták nedvességtartalom-adatait és az alfa-sav veszteségek mértékét az 20. táblázatban mutatom be.

19. táblázat: Vákuumcsomagolt, 0°C-on tárolt komlóminták tárolás előtti, utáni és átlagos nedvességtartalma, illetve alfa-sav veszteségük egy hétre vonatkoztatva
(Forrás: Saját mérési eredmények)

Komlófajták	Kezdeti nedvességtartalom	Tárolás utáni nedvességtartalom	Átlagos nedvességtartalom	Alfa-sav tartalom változás / hét (%)
Bramling Cross	14,12%	9,90%	12,01%	-0,041
East Kent Golding	13,95%	15,23%	14,59%	-0,001
Hallertauer Mittelfrüher	23,95%	22,89%	23,42%	-0,016
Hersbrücker Pure	30,76%	32,14%	31,45%	-0,013
Saphir	17,68%	11,89%	14,79%	-0,028
Spalter	17,23%	37,55%	27,39%	+0,058
Spalter Select	13,63%	10,46%	12,05%	-0,054
2021-es szüretelésű Comet	31,50%	12,54%	22,02%	-0,216
2022-es szüretelésű Comet	31,59%	16,40%	24,00%	-0,125
2021-es szüretelésű Fuggles	17,43%	14,63%	16,03%	+0,001
2022-es szüretelésű Fuggles	26,42%	32,61%	29,52%	-0,015

A táblázatban látható adatokból kitűnik, hogy a nedvességtartalom és az alfa-sav veszteség között nincs összefüggés. A regressziószámítások is ezt mutatták ki. A három várható értéktől eltérő eredményt (Spalter, East Kent Golding és Fuggles 2021) a statisztikai elemzésből kizártam és az összefüggést vizsgáltam kezdeti, tárolás utáni és átlagos nedvességtartalommal is. A korrelációs együtthatók eredménye ugyanebben a sorrendben a következők lettek: $r = 0,1954$; $0,1981$ és $0,003$.

A minták homogenizációját azért nem végeztem el tárolás előtt, mert igyekeztem minél kisebb oxidációnak kitenni mintáimat. Az őrlés hatására ugyanis a mintáim felületnövekedése és intenzív mozgatása által nagy lett volna a levegővel való érintkezés, emiatt tárolás előtt ezt a lépést károsnak tartottam. A meglepően alacsony korrelációs értékek azonban a tárolás előtti homogenizáció hiányára utalnak, így a kísérletek folytatásánál meggondolandó a tárolási vizsgálatok előtt történő teljes mintaállomány őrlése és homogenizálása.

Másik feltételezésem azon alapszik, hogy az alfa-savak vízben nem, csak apoláris, szerves oldószerekben oldódó vegyületek. Tehát a viszonylag alacsony nedvességtartalom-tartományban (kb. 10-30%) való ingadozás az alfa-sav veszteség szempontjából nem számottevő, nem gyorsítja fel az oxidációt és polimerizációt, egyszóval az alfa-savak degradációját.

5. Következtetések és javaslatok

A kutatás során célom volt, hogy hazai termesztésű leveles komlófajták vizsgálatain keresztül átfogó képet adjak a mérési, felhasználási és tárolási sajátosságokról. Illetve, optimalizáljam azon mérési módszereket, amelyeket alapvetően pelletizált komlók analízise során alkalmaznak. A szárított leveles komlók hosszú távú tárolásának alfa-sav tartalomra való hatását és módszertanát szintén megvizsgáltam.

Az alfa-sav tartalom meghatározásakor (ASBC-Hops 6), a szakirodalmi eredményekkel való összevetés alapján az alábbi módszer-adaptációs lépéseket tartom szükségesnek:

- Mintaelőkészítés: az extrakciós lépés előtt a minták mechanikai feltárása ($p < 0,01$).
- A szakirodalmi összehasonlításhoz: a minták változó nedvességtartalma miatt, 10%-os nedvességtartalomra korrigáló kalkuláció beiktatása.

Az őrlés jelentőségét a technológiai felhasználás során is megfigyeltem. Az eredmények alapján a leveles komlók forralási izomerizációs hatásfoka (alfa-savak hasznosulása) és az őrlés között nem találtam összefüggést. Az alfa-sav tartalom vizsgálatok során reálisabb eredményeket biztosító őrlés a forralási izomerizációs hatásfokot nem befolyásolta ($p > 0,05$), tehát a sörléhez adagolt leveles komlók őrlése, aprítása nem szükséges a komlóforralást megelőzően, mivel mechanikai feltárást az intenzív folyadékmozgás biztosítja.

A Budafokon termesztett, 2022-ben szüretelt Comet és Fuggles komlók alfa-sav tartalma jelentősen kisebb volt - a 2021-ben szüretelt mintákhoz képest. Meteorológiai adatok alapján a csökkenés oka feltehetőleg a júliusi csapadékmennyiségek különbsége; 2021. júliusában közel tízszeres csapadékmennyiség volt jelen, mint 2022-ben. Szakirodalmak alapján a júniusi-júliusi csapadékmennyiség jelentősen befolyásolja az alfa-sav képződést, egyenes arányossággal.

A tárolási kísérlet során a komlófajták nedvesség- és alfa-sav tartalmának változását vizsgáltam, több hetes tárolás esetén. Az eredmények alapján következtetésem az alábbiak:

- A leveles komlók nedvességtartalom-változásából átlagos érték nem volt meghatározható, a szórás nagy értékéből kifolyólag. A magas szórás a fajtajellegenként különböző tobozszerkezetekre, mint befolyásoló tényezőre enged következtetni.
- A kezdeti nedvességtartalom sem befolyásolta a nedvességtartalom-változás értékét.
- Több szakirodalom számítási módszerének elemzésével megállapítottam, hogy Skinner és munkatársainak (1977) módszere a legalkalmasabb az alfa-sav tartalom veszteség kimutatására. A módszer tükrözi az ipari felhasználás során bekövetkező veszteséget.

- A tárolási vizsgálat során megállapított alfa-sav veszteség nagy szórást mutatott az egyes komlófajták között, amely oka valószínűleg az inhomogén mintaállomány volt.
- Az alacsony nedvességtartalmú (10-30%), szárított leveles komlók esetén a tárolás során bekövetkező alfa-sav degradáció és a nedvességtartalom nem korrelál ($p > 0,05$).
- A tárolás során fellépő alfa-sav tartalom veszteségének mértéke feltehetőleg függ a fajtajellegtől, a tárolási mód (csomagolás) és a hőmérséklet mellett.

Továbbá, ezen következtetésekből kifolyólag javaslataim az alábbiak.

- Leveles komlók vizsgálata során érdemes a mechanikai feltárással (őrlés, aprítás) előkészíteni a mintát és az alfa-sav tartalmat 10%-os nedvességtartalomra korrigálni.
- A leveles komlók forralása esetén nem szükséges az adagolást megelőző mechanikai feltárás.
- A komlótermesztők csapadékszegény június és július esetén; öntözéssel feltehetőleg fokozni tudják a növény alfa-sav termelését.

Az alfa-sav veszteséggel foglalkozó kutatások során mindenképp a Skinner és munkatársai (1977) által alkalmazott számítási módszert tartom alkalmasnak. Ennek technológiai oka leegyszerűsítve, hogy más módszerek a kezdeti alfa-sav tartalomhoz viszonyítva számolnak százalékos értéket, amellyel arányos veszteséget kapunk, nem pedig az alfa-savak tömegszálékbeli csökkenését, amelyet a komlóforralás során bekövetkező valódi veszteségnek tekinthetünk.

Tárolási vizsgálat esetén az eredmények arra utalnak, hogy a vizsgálat megbízhatóbb adatokat biztosíthat akkor, ha a minta egészét (nagyobb tételt) őrlünk és nem csak az analízishez elegendő mennyiséget, elkerülve az inhomogén mintaállományt. A minták homogenitásáért felelős őrlés azonban nagyobb oxidációnak (alfa-sav bomlásnak) teszi ki a leveles komlót, amely szintén befolyásolhatja az eredményeket. A tárolási vizsgálatok fejlesztéséhez mindenképp további kutatások szükségesek.

Munkám eredményeinek ipari hasznosítását/alkalmazhatóságát elsősorban kisüzemek számára tartom érdemesnek. Az általuk termesztett, adott esetben feldolgozott komlók leveles jellegéből adódó tárolása, vizsgálata és adagolása merőben eltér az ipari komlókészítményektől. Amennyiben a komlók tárolása szükséges és van szabad kapacitás, mindenképp a szárítást követő vákuumcsomagolást és minél hűvösebb helyen való elhelyezést tartom megfelelő megoldásnak.

6. Összefoglalás

Munkám során a komló söripari szempontból egyik legjelentősebb komponensére, a sör keserűségének 85%-áért felelős alfa-savakra fókuszáltam. Vizsgálataimat mikroültetvényen termesztett leveles komlókon végeztem, amelyeket itthon elsősorban kisüzemek alkalmaznak. Igyekeztem általános képet kapni a vizsgálati módszerekről.

Elsőként az alfa-sav tartalom mérési módszert (ASBC-Hops 6) vizsgáltam, hogy amennyiben komlópellettől eltérő mintát vizsgálok, eredményeket kapok. A vizsgálat során a szárított leveles komlók alfa-sav tartalmi értékei meglehetősen alacsonynak bizonyultak (1,43-2,32%).

A komlófajták alfa-sav tartalmának irodalmi értékekkel való összevetéséhez szükséges volt a minták kereskedelmi megfelelőiktől és egymástól is különböző nedvességtartalmának ismerete. A szakirodalom és kereskedők adatai alapján a komló beltartalmi értékeit tömegszázalékban szokás megadni, az átlagos nedvességtartalmat pedig 10%-nak tekinthetjük. Az általam vizsgált minták nedvességtartalma meglehetősen nagy ingadozást mutatott (13,63-30,76%). 10% nedvességtartalomra való korrekció alkalmazásával az alsó határértékhez közelebbi eredményeket kaptam (1,56-2,50%), de továbbra sem estek az irodalmi értékek közé.

Ezt követően feltételeztem, hogy a vizsgálat eredményességéhez először fizikai feltárással járó mintaelőkészítés szükséges. Ezt őrléssel valósítottam meg, és az eredmények szignifikánsan nagyobb alfa-sav tartalmat mutattak (1,92-5,97%,). Az őrlés nélküli és őrléssel előkészített minták közötti különbség statisztikai bizonyításához kétmintás, párosított t-próbát végeztem, amely valóban szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,01$).

Komlóforralás laboratóriumi léptékű modellezésével vizsgáltam az izomerizációs hatásfokot, az ismert alfa-sav tartalom és a keserűérték összevetésével. A vizsgálatok során összefüggést kerestem az előzőekben pozitív eredményt hozó őrlés és a hasznosulás javulása között. Az üzemi technológiát modellező kísérlet azonban nem mutatott szignifikáns különbséget ($p > 0,05$), a fizikai feltárásról ugyanis a forralással járó intenzív folyadékmozgás gondoskodott.

A kísérletek felhívták a figyelmem az évjáratbeli különbségekre, amelyek szerint az egy tőről szüretelt 2021-es minták alfa-sav tartalma magasabb volt, mint 2022-es megfelelőiknek. A mikroültetvényen az OMSZ adatai szerint 2021. júliusában 140-150 mm, 2022-ben csak 10-15 mm (Internet 9) csapadék esett. Ez magyarázatot ad a jelenségre, mert MacKinnon és munkatársai (2020) a júniusi-júliusi csapadékmennyiség és a komlók alfa-sav termelésének mértéke között egyenes arányosságú regressziót állapítottak meg ($r = 0,74$, $p < 0,01$).

Munkám részét képezte a tárolás során bekövetkező alfa-sav tartalom degradációjának vizsgálata is, amelyhez először meg kellett állapítanom a helyes módszert, mivel a szakirodalomban különböző megközelítéseket alkalmaztak ezen veszteség megállapítására. Végül elsősorban technológiai, gyakorlati szempontból próbáltam megközelíteni a kérdést, és az alfa-savak tömegbeli veszteségével számoltam, az eredeti alfa-sav tartalomra való vonatkoztatás nélkül, mivel a főzőházban ez mutatja a valódi veszteségünket.

Tárolási vizsgálatot is végeztem, 0°C-on, 15 hétig és 6 hónapig fénytől védett vákuumcsomagolásban. A nedvességtartalom és alfa-sav tartalom változásának mértékére összpontosítottam. A nedvességtartalom változása nem mutatott egyértelmű korrelációt, az eredmények -18,98% és +6,19% közé estek és a kezdeti nedvességtartalommal sem korreláltak ($p > 0,05$). A változás mértéke feltehetőleg a fajtajellegből eredő tobozszerkezetek különbségétől függ.

A tárolási vizsgálat másik fókuszpontja az alfa-sav tartalom csökkenés mértéke volt. A minták keserűsáv veszteségét nagy szórás jellemzi. Az alfa-sav tartalom egy hetes tárolásra vonatkoztatva 0,013 és 0,216 közötti tömegszázalékbeli csökkenést mutatott. Ezt egyrészt a fajtajelleg és évjárat okozta különbségek, másrészt a teljes minta homogenizációjának hiánya eredményezhette.

A pelletizálás folyamatánál hangsúlyos lépés a homogenizálás. Pelleték vizsgálata esetén a minták már egyneműnek tekinthetők. Szárított leveles komlók esetében viszont a komlótobozok még eltérőek egymástól. Bár az alfa-sav tartalom vizsgálatok előtt minden esetben őrlést végeztem, magát a vákuumcsomagolásban levő teljes mintasokaságot nem őrlöttem meg, elsősorban azért, hogy ne oxidálódjanak. Az eredményekből azonban az olvasható ki, hogy a tárolás után egészen biztos, hogy különböző tobozokat vizsgáltam, a mérés előtt már hiába történt meg a mintaelőkészítés.

Összességében elmondható, hogy a leveles komlók alfa-sav tartalmának megállapításánál, illetve tárolási alfa-sav veszteség vizsgálatnál a homogenizáció egyaránt szükséges. Az eredményekből egyértelművé vált, hogy a fajtajelleg és az évjáratok okozta különbségek nagy mértékkel befolyásolják a vizsgálatokat. A további kutatásokban szereplő vizsgálatoknál - akár a Műhely munkájának folytatása során - a különböző befolyásoló tényezőket már kizárhatjuk, vagy éppen figyelembe vehetjük. A kutatást ezen tényezők figyelembevételével mindenképp folytatni kívánom.

7. Irodalomjegyzék

Almaguer, C. *et al.* (2014) 'Humulus lupulus – a story that begs to be told. A review', *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), pp. 289–314. <https://doi.org/10.1002/jib.160>.

Analytica EBC 8.8 (2004) Bitterness of wort. European reference analytical methods for brewers by the European Brewery Convention

ASBC Hops-6 (2008) alpha- and beta-acids in hops and hop pellets by spectrophotometry and by conductometric titration. Methods of Analysis American Society of Brewing Chemists (ASBC)

Bamforth, C.W. (2000) 'Beer: An Ancient Yet Modern Biotechnology', *The Chemical Educator*, 5(3), pp. 102–112. <https://doi.org/10.1007/s00897000378a>.

Caballero, I., Blanco, C.A. és Porras, M. (2012) 'Iso- α -acids, bitterness and loss of beer quality during storage', *Trends in Food Science & Technology*, 26(1), pp. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.01.001>.

Canbaş, A., Erten, H. és Özşahin, F. (2001) 'The effects of storage temperature on the chemical composition of hop pellets', *Process Biochemistry*, 36(11), pp. 1053–1058. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00134-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00134-0).

Cocuzza, S. (2013) 'Influence of Picking Date on the Initial Hop Storage Index of Freshly Harvested Hops', *Technical Quarterly*. <https://doi.org/10.1094/TQ-50-2-0604-01>.

Daniels, R. (2000) Designing Great Beers, *Brewers Publication*, Boulder, Colorado, USA pp. 160-201

De Keukeleire, D. (2000) 'Fundamentals of beer and hop chemistry', *Química Nova*, 23, pp. 108–112. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100019>.

Duarte, L.M. *et al.* (2022) 'Determination of α - and β -acids in hops by liquid chromatography or electromigration techniques: A critical review', *Food Chemistry*, 397, p. 133671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133671>.

Henderson, S.M. és Miller, G.E. (1972) 'Hop drying—Unique problems and some solutions', *Journal of Agricultural Engineering Research*, 17(3), pp. 281–287. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(72\)80032-5](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(72)80032-5).

Hough, J.S. *et al.* (1982) 'The Chemistry of Hop Constituents', in J.S. Hough *et al.* (eds) *Malting and Brewing Science: Volume II Hopped Wort and Beer*. Boston, MA: Springer US, pp. 422–455. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1799-3_2.

Internet 1. (2016. 08. 23.) Letöltés időpontja: 2023. 10. 14. 12:54, Forrás: <https://sicilianosmkt.blogspot.com/2016/08/homebrew-science-hops-part-i-alpha-and.html>

Internet 2. (dátum nélkül) Letöltés időpontja: 2023. 10. 09. 10:22, Forrás: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Internet 3. (2023. 02. 05.) Letöltés időpontja: 2023. 10. 11. 15:43, Forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=cIon8ytoGzU&t=301s>

- Internet 4. (2019. 08. 05.) Letöltés időpontja: 2023. 09. 29. 23:34, Forrás: <https://www.northernbrewer.com/blogs/beer-recipes-ingredients/whole-vs-pellet-hops>
- Internet 5. (2019. 07. 23.) Letöltés időpontja: 2023. 09. 27. 21:34, Forrás: <https://www.magro.hu/agrarhirek/100-millio-forint-tamogatast-kaphat-a-magyar-komlotermesztes/>
- Internet 6. (dátum nélkül). Letöltés időpontja: 2023. 09. 27. 23:21, Forrás: <https://www.uradalmisor.hu/komlotermesztes/>
- Internet 7. (dátum nélkül). Letöltés időpontja: 2023. 10. 15. 19:21 Forrás: <https://www.yakimachief.com/commercial/commercial-products/commercial-whole-leaf>
- Internet 8. (dátum nélkül). Letöltés időpontja: 2023. 10. 15. 20:01 Forrás: <https://www.hopslist.com/>
- Internet 9. (dátum nélkül). Letöltés időpontja: 2022. 10. 18. 08:41 Forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/
- Irwin, A.J., Murray, C.R. és Thompson, D.J. (1985) 'An Investigation of the Relationships between Hopping Rate, Time of Boil, and Individual Alpha-Acid Utilization', *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 43(3), pp. 145–152. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-43-0145>.
- Jaskula, B. *et al.* (2009) 'Hopping Technology in Relation to α -Acids Isomerization Yield, Final Utilization, and Stability of Beer Bitterness', *JOURNAL OF THE AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS*, 67(1), pp. 44–57. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2009-0106-01>.
- Jaskula, B., Aerts, G. és De Cooman, L. (2010) 'Potential impact of medium characteristics on the isomerisation of hop α -acids in wort and buffer model systems', *Food Chemistry*, 123(4), pp. 1219–1226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.090>.
- Justus, A. (2018) 'Tracking IBU Through the Brewing Process: The Quest for Consistency', *Tracking IBU Through the Brewing Process: The Quest for Consistency*, 55(3), pp. 67–74.
- Kappler, S. *et al.* (2010) 'Degradation of Iso- α -Acids During Wort Boiling', *Journal of the Institute of Brewing*, 116(4), pp. 332–338. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00783.x>.
- Klimczak, K. és Cioch-Skoneczny, M. (2023) 'Changes in beer bitterness level during the beer production process', *European Food Research and Technology*, 249(1), pp. 13–22. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04154-0>.
- Koetter, U. és Biendl, M. (2010) 'Hops (*Humulus lupulus*): A Review of its Historic and Medicinal Uses', *The Journal of the American Botanical Council*, 87, pp. 44–57.
- Korpelainen, H. és Pietiläinen, M. (2021) 'Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential', *Economic Botany*, 75(3), pp. 302–322. <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1>.
- Krofta, K. *et al.* (2017) 'Determination of Bitter Compounds in Hops - Effect of Crop Year and Hops Age', *Kvasny Prumysl*, 63, pp. 241–247. <https://doi.org/10.18832/kp201725>.

Kunze, W. (2004) Technology Brewing and Malting, *Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB)*, Berlin, Németország, pp. 281-285

Lemmens, G. (1998) 'THE BREEDING AND PARENTAGE OF HOP VARIETIES', in. <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-BREEDING-AND-PARENTAGE-OF-HOP-VARIETIES-Lemmens/a323b99def506398a191acf0f5ef9641deef398f> (Letöltve: 2023.10.04)

Machado, J.C., Faria, M.A. és Ferreira, I.M.P.L.V.O. (2019) '10 - Hops: New Perspectives for an Old Beer Ingredient', in A.M. Grumezescu and A.M. Holban (eds) *Natural Beverages*. Academic Press, pp. 267–301. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00010-9>.

MacKinnon, D. *et al.* (2020) 'The impact of weather conditions on alpha-acid content in hop (*Humulus lupulus* L.) cv. Aurora', *Plant, Soil and Environment*, 66(10), pp. 519–525. <https://doi.org/10.17221/344/2020-PSE>.

Malowicki, M.G. és Shellhammer, T.H. (2005) 'Isomerization and Degradation Kinetics of Hop (*Humulus lupulus*) Acids in a Model Wort-Boiling System', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), pp. 4434–4439. <https://doi.org/10.1021/jf0481296>.

Oladokun, O. *et al.* (2016) 'The impact of hop bitter acid and polyphenol profiles on the perceived bitterness of beer', *Food Chemistry*, 205, pp. 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.023>.

Rybka, A. *et al.* (2018) 'Effect of drying temperature on the content and composition of hop oils', *Plant, Soil and Environment*, 64(10), pp. 512–516. <https://doi.org/10.17221/482/2018-PSE>.

Sanz, V. *et al.* (2019) 'What is new on the hop extraction?', *Trends in Food Science & Technology*, 93, pp. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.018>.

Skinner, R.N., Hildebrés, R.P. és Clarke, B.J. (1977) 'The Effect of Storage Temperature on the Stability of the Alpha-Acids Content of Baled Hops', *Journal of the Institute of Brewing*, 83(5), pp. 290–294. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1977.tb03811.x>.

Srećec, S. *et al.* (2008) 'Hop pellets type 90: Influence of manufacture and storage on losses of α -acids', *Acta Alimentaria*, 38(1), pp. 141–147. <https://doi.org/10.1556/aalim.2008.0014>.

Sun, S. *et al.* (2022) 'Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer-related microorganisms', *Food and Energy Security*, 11(2), p. e367. <https://doi.org/10.1002/fes3.367>.

Taniguchi, Y. *et al.* (2013) 'Identification and Quantification of the Oxidation Products Derived from α -Acids and β -Acids During Storage of Hops (*Humulus lupulus* L.)', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(12), pp. 3121–3130. <https://doi.org/10.1021/jf3047187>.

Wöllmer, W. (1930) *Wochenschr. Brauerei*, 47:521

Zanoli, P. és Zavatti, M. (2008) 'Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L.', *Journal of Ethnopharmacology*, 116(3), pp. 383–396. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.011>.

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

8.1. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Szárított komlótozók átlagos kémiai összetétele (Forrás: Hough <i>et al.</i> , 1982 nyomán).....	6
2. táblázat: Bálázott komlók alfa-sav tartalom csökkenése, eltérő tárolási hőmérsékleteken (Forrás: Skinner <i>et al.</i> , 1977 nyomán).....	15
3. táblázat: 3°C-on és szobahőmérsékleten 6 hónapig tárolt komlópelletek alfa-sav tartalmának és nedvességtartalmának változásai (Forrás: Canbaş <i>et al.</i> , 2001 nyomán).....	16
4. táblázat: Vákuumsomagolásban tárolt komlópelletek alfa-sav tartalmának csökkenése egy hétre vonatkoztatva (Forrás: Canbaş <i>et al.</i> , 2001 nyomán)	17
5. táblázat: Vákuumsomagolt komlópelletek és bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom vesztesége közel azonos hőmérsékleteken, egy hétre vonatkoztatva (Forrás: Skinner <i>et al.</i> , 1977; Canbaş <i>et al.</i> , 2001 nyomán)	18
6. táblázat: Vizsgált komlófajták eredete (Forrás: Internet 7 és 8 nyomán)	22
7. táblázat: Vizsgált komlófajták mért alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények, Internet 7 és 8 nyomán)	28
8. táblázat: Vizsgált komlótozók nedvességtartalma (Forrás: Saját mérési eredmények) ..	29
9. táblázat: A minták 10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalom (Forrás: Saját mérési eredmények)	30
10. táblázat: A komlófajták 10% nedvességtartalomra korrigált alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 és 8 nyomán)	31
11. táblázat: Örlés után vizsgált komlófajták mért alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 és 8 nyomán)	31
12. táblázat: Örlés nélkül és örléssel vizsgált alfa-sav tartalom komlófajtánként (Forrás: Saját mérési eredmények)	32
13. táblázat: Eltérő évjáratú Comet és Fuggles komlók alfa-sav tartalma, irodalmi határértékekkel kiegészítve (Forrás: Saját mérési eredmények; Internet 7 nyomán)	33
14. táblázat: Örlés és örlés nélkül alkalmazott komlóminták alfa-sav tartalmának hasznosulása forralás következtében (Forrás: Saját mérési eredmények)	34

15. táblázat: Szárított leveles komlók nedvességtartalmának változása vákuumsomagolásban, 0°C-on, 6 hónapig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)	37
16. táblázat: Szárított leveles komlók nedvességtartalmának változása vákuumsomagolásban, 0°C-on, 15 hétig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)	38
17. táblázat: Szárított leveles komlók alfa-sav tartalmának változása vákuumsomagolásban, 0°C-on, 6 hónapig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)	39
18. táblázat Szárított leveles komlók alfa-sav tartalmának változása vákuumsomagolásban, 0°C-on, 15 hétig tárolva (Forrás: Saját mérési eredmények)	40
19. táblázat: Vákuumsomagolt, 0°C-on tárolt komlóminták tárolás előtti, utáni és átlagos nedvességtartalma, illetve alfa-sav veszteségük egy hétre vonatkoztatva (Forrás: Saját mérési eredmények)	41

8.2. Ábrák jegyzéke

1. ábra: A komló felépítése (Forrás: Internet 1 nyomán)	5
2. ábra: A komlótohoz söríparilag értékes komponensei (Forrás: Machado <i>et al.</i> , 2019 nyomán)	7
3. ábra: Különböző tobozok teljes és keresztmetszeti fényképei (Forrás: Lemmens, 1998)	8
4. ábra: Alfa- és béta-savak kémiai szerkezete (Forrás: Sun <i>et al.</i> , 2022 nyomán)	9
5. ábra: Az alfa-savak kémiai szerkezetének változása a komlóforralás alatt lejátszódó izomerizáció hatására (Forrás: Caballero <i>et al.</i> , 2012 nyomán).....	9
6. ábra: Az izomerizációs hatások alakulása a forralási idő függvényében (Forrás: Jaskula <i>et al.</i> , 2009 nyomán).....	10
7. ábra: Az izomerizációs hatások (%) alakulása a sörlé extrakttartalmának (°P) függvényében (Forrás: Justus, 2018).....	11
8. ábra: -20 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner <i>et al.</i> , 1977)	13
9. ábra: -5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner <i>et al.</i> , 1977)	13

10. ábra: + 5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner et al., 1977)	14
11. ábra: +5 °C-on tárolt bálázott leveles komlók alfa-sav tartalom változása, az idő függvényében (Forrás: Skinner et al., 1977)	14
12. ábra: Frissen szüretelt Perle aromakomlók (DEPE) és Hercules keserűkomlók (DEHS) HSI értéke, különböző szüretelési időpontokban (Forrás: Cocuzza, 2013).....	19
13. ábra: Leveles komló a pelletizálás előtt és komlópellet, mint késztermék (Forrás: Internet 4).....	20
14. ábra: Szárított leveles komló, az őrlőberendezés és az őrlés utáni komlódarálék (Forrás: Saját fényképek).....	22
15. ábra: Forralási kísérlet (Forrás: Saját fénykép)	23
16. ábra: Toluolos kivonatolás (Forrás: Saját fénykép)	24
17. ábra: Az extraktumok centrifugálás után (Forrás: Saját fénykép).....	25
18. ábra: Hígítási sor alfa-sav tartalom meghatározásához (Forrás: Saját fénykép)	26
19. ábra: Szárított leveles komlók őrlésének hatása az alfa-sav tartalom vizsgálatra (Forrás: Saját mérési eredmények)	32
20. ábra: Őrlés és őrlés nélkül alkalmazott komlóminták alfa-sav tartalmának hasznosulása forralás következtében (Forrás: Saját mérési eredmények)	35
21. ábra: 2021. júliusi csapadékösszeg (mm) Magyarországon (Forrás: Internet 9 nyomán). 36	
22. ábra: 2022. júliusi csapadékösszeg (mm) Magyarországon (Forrás: Internet 9 nyomán). 36	

9. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretném megköszönni a TDK-műhely vezetőjének és konzulensemnek, Dr. Kun-Farkas Gabriella egyetemi docensnek, hogy bizalmat szavazott nekem arra, hogy a műhely tagja legyek! Ezen felül pedig az elejétől végéig kitartó segítségét és támogatását, amelyek nélkül a pályamunka nem jöhetett volna létre!

Szeretném Csulak Gergely mesteroktatónak a hozzájárulását is megköszönni, illetve a lehetőséget, hogy az általa tervezett és szüretelt komlókat biztosította számomra a vizsgálatokhoz!

Továbbá köszönöm Hajdú Tibornak, a Tanszéken működő Technológiai Labor technikusának, hogy segített minden kísérletem gyakorlati megvalósításában!

Végül, de nem utolsó sorban hálával tartozom a MATE Budai Campusán működő Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszéknek, ahol az oktatókkal közös munkát egy igazi tudományos élményként élhettem meg!

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-23-1 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Almássy Gábor
A Hallgató Neptun kódja: LY3BDM
A dolgozat címe: Mikroültetvényen termesztett komlótozók keserűsav-tartalmának meghatározása és alkalmazásának sajátosságai
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év elteltével nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2024 év november hó 04. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Almássy Gábor (Neptun azonosítója: LY3BDM) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: *Budapest, 2024. november 2.*


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.