

Magyar Agrár- és Élettudományi egyetem  
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet  
Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

# **Komlópellet és leveles komló alfasav hasznosulása a pH függvényében**



Erdei Szabolcs  
BUDAPEST  
2023

**MATE**  
MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

# Tartalom

1. Bevezetés.....	1
2. Célkitűzés .....	2
3. Irodalmi Áttekintés.....	3
3.1. Sörgyártás.....	3
3.1.1. A sörgyártás történelme .....	3
3.1.2. Sörgyártás alapanyagai.....	4
3.1.3. Maláta előállítás .....	5
3.1.4. A sör .....	7
3.2. A komló.....	11
3.3. Komlókészítmények.....	12
3.4. A komló további összetevői .....	13
3.5. Alfa-sav .....	14
3.6. Keserűérték számolás (IBU) .....	17
3.7. Alfásav hasznosulást befolyásoló tényezők .....	17
4. Anyagok és módszerek.....	19
4.1. Alapanyagok .....	19
4.2. Eszközök, vegyszerek .....	20
4.3. Sörlé előállítás és mérési módszerek.....	21
4.3.1. Kísérleti terv .....	21
4.3.2. Keserűérték meghatározás .....	22
4.3.3 Extrakttartalom meghatározása .....	23
4.3.4. Komlópellet alfásav tartalmának meghatározása .....	25
4.3.5. Színmeghatározás (EBC) spektrofotométerrel.....	26
4.3.6. pH mérés .....	27
5. Kísérleti eredmények és értékelés .....	28
6. Összefoglalás.....	40
7. Irodalmi hivatkozások .....	41
8. Köszönetnyilvánítás .....	42
9. Nyilatkozatok .....	43

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet**

**Szak neve: MSc Élelmiszermérnöki  
Specializáció neve: Élelmiszer-biotechnológia**


**Diplomadolgozat készítés helye: Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszék**


**Hallgató: Erdei Szabolcs**


A diplomadolgozat címe: **Komlópellet és leveles komló alfa-sav tartalmának hasznosulása a pH függvényében**

Konzulens: **Dr. Kun-Farkas Gabriella**

Beadás dátuma: 2023. május 9.

  
\_\_\_\_\_  
diplomadolgozat készítés helyének vezetője  
Dr. Nguyen Duc Quang

  
\_\_\_\_\_  
konzulens  
Dr. Kun-Farkas Gabriella

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pomázi Andrea  
specializáció felelős

## 1. Bevezetés

A témaválasztás indoka, hogy régóta foglalkoztat az otthoni sörfőzés, de korábban minden tudományosságot nélkülözve, szájhagyomány után és néhány internetes, de szakirodalomnak semmilyen körülmények között nem nevezhető cikk elolvasását követően végeztem otthon a sörfőzést és maláta ital készítést. Ebből következett, hogy gyakran nem sikerült megfelelő minőségben sört előállítani, ekkor döntöttem úgy, hogy kicsit tudományosabb alapokra helyezem sörfőzést és kezdtem el szakirodalomban kutakodni. Így diplomamunkám témájának kiválasztása során is elsődleges volt, hogy sörrel kapcsolatos témát válasszak.

A sörfőzés az egyik legrégebbi élelmiszer előállítási folyamat az emberiség történelmében, közel 6000 évre nyúlik vissza. A legősibb civilizációk közül már az egyiptomiak és mezopotámiaiak is művelték (Gomaa, 2018). A sör két legfontosabb alapanyaga a víz és maláta mellett a komló különösen fontos a sör előállítása során, annak jellegzetes íz kialakításában játszik fő szerepet.

A sör 4 fő alapanyagból áll: víz, maláta, komló és élesztő. A diplomamunka témája ezek közül a komlóval és pontosabban a komlóban található alfa-sav hasznosulással foglalkozik. A komló (*Humulus lupulus*) a sörfőzésben régóta használt alapanyag, melyet elsősorban a sör tartósítása miatt használtak. Azonban felismerésre került, hogy a komló szerepe nem csak a tartósítás, de szerepet játszik a sör főbb minőségi jellemzőinek kialakításában, mint például íze, aromája, habja, színe és a végtermék stabilitása (Jaskula, 2008).

A jellegzetes keserű ízért a komlóban található alfa-savak, illetve pontosabban a komlóforralás hatására a komlóból kioldódó és átalakuló (hőmérséklet hatására izomerizálódó) izo-alfasav felelős, valamint az illóolajok eredményezik a sör legfontosabb íztulajdonságai közül nevezetesen a jellegzetes komlós aromát (Jaskula, 2008).

A sörfőzés ma is az élelmiszeripar egyik jelentős iparága, a világ komlótermelésének jelentős részét a söripar használja fel, főképp pellet formájában. A söripar az utóbbi időben átalakuláson megy keresztül, egyre több kisüzemi és kézműves sörfőzde terméke kerül piacra, melyek nagy népszerűségnek örvendenek a sörfogyasztók körében az egész világon. Annak ellenére, hogy a sörfőzés több ezer éves múltra visszanyúlik, a mai napig születnek új ötletek, technikák különböző sörök előállítására.

Célul tűztem ki munkám során leveleskomló és komlópellet alfa-sav hasznosulásának vizsgálatát pH függvényében. A mintákat otthoni sörfőzés során szerettem volna előállítani.

## 2. Célkitűzés

Munkám során célul tűztem ki leveles komló és komló pellet alfa-sav hasznosulásának vizsgálatát pH függvényében otthoni sörfőzési körülmények között. A munka során Spalter Select leveles komlót és ugyanilyen típusú komlópelletet használtam. A sörlé előállítása és komlóforralás képezi a diplomamunka részét, a sör erjesztése nem része a diplomamunkának, ezért arról a dolgozat nem tesz említést.

Célom volt három otthoni sörlé főzésből 9 db mintát előállítani laboratóriumi vizsgálatokra. A beállított pH értékeket úgy szerettem volna megválasztani, hogy azok jelentősen ne térjenek el az eredeti sörlé pH-jától, fogyasztásra alkalmas és nagyobb léptékben is használható legyen, ne okozzon sör ízében kedvezőtlen változást.

A sörlé pH-ja kb. 5,5 körüli, ezért egy-egy pH egységgel alatta és felette szerettem volna a pH-t beállítani, tehát 4-4,5 valamint 6,5-7 pH értékeket.

Három sörlé főzését terveztem, melyeket két-két részre osztok és megfelelő pH-ra állítást követően elvégzem a komlóforralást a kétféle komlóval. Ezt követően a mintákat (sörlé és komlózott minták) különböző vizsgálatoknak vetem alá. Tervezett mintaszám tartalmazza a megfelelő pH-ra állított sörleveket és a kétféle komlóval komlózott sörleveket. Mivel otthoni főzésről van szó, a mintákat a mérésig fagyaszttva tárolom.

Az elvégzendő mérések:

- Keserűérték meghatározás (izo-alfasav tartalom)
- Extrakt tartalom mérés
- Komlópellet alfa-sav tartalom meghatározás
- Szín (EBC) meghatározás
- pH mérés

### 3. Irodalmi Áttekintés

#### 3.1. Sörgyártás

A sör malátából, pótanyagokból vízzel cefrézett, komlóval és egyéb engedélyezett anyagokkal ízesített, sörélesztővel erjesztett, szén-dioxidot tartalmazó alkoholos ital. A sörgyártás kezdete óta a középkorig a sört spontán erjesztették, nem voltak ismeretek a sörélesztőről (Biacs et al. 2013).

##### 3.1.1. A sörgyártás történelme

A sörgyártás művelése igen régi időkre nyúlik vissza. Az első történelmi bizonyítékok az ókori Egyiptomból származnak, ez alapján bizonyíthatóan már i.e. 5500 körül rendszeresen gyártottak és használtak sört Egyiptom területén. Az egyiptomiak úgy tartották, hogy a sört Ozirisz isten találta fel. A sört az ókori egyiptomiak napi rendszerességgel fogyasztották frissítőként és víz helyettesítőként. A sör alkohol tartalma nem volt magas, eltarthatósági ideje igen rövid volt, ez szükségessé tette a napi rendszerességű sörfőzést és a kész sör fogyasztását (Hornsey, 2003).



1. ábra: Sörfogyasztás az ókori Egyiptomban (Internet 1)

Egyiptom mellett Mezopotámiában is ismerték és művelték a sörfőzést az ókorban. A 20. században kezdtek az archeológusok arra a közös véleményre jutni, hogy nem is Egyiptom, hanem Mezopotámia a legrégebbi ország ahol először sört főztek. Az erre utaló bizonyítékok egészen visszavezetnek a területéről származó legkorábbi történelmi bizonyítékok idejébe. Ezek a történelmi feljegyzések olyan széleskörűek, hogy betekintést engednek a korai mezopotámiai sörfőzők idejébe és életébe. Egyesek szerint a sörfőzés születése a mezopotámiai Babilonban történt közel 8000 évvel ezelőtt (Hornsey, 2003).

A középkorra Európában a sörfőzés sokkal kifinomultabbá vált, elkezdődött a komló használata, mint ízesítő és tartósítószer. Ebben az időben indult meg a komló tudatos

termelése is elsősorban a kolostorok kertjeiben. A szerzetesek igen nagy szerepet játszottak a sörkészítésben ebben az időben, számos kolostorban főztek saját sört és fejlesztettek ki új sörfőzési technikákat, eljárásokat.

Ebben az időben, 1516-ban jelent meg Bajorországban a német sörtisztasági törvény (Reinheitsgebot), amely az egyik legrégebbi élelmiszerre vonatkozó törvény a világon. A törvény szigorú követelményeket állít fel a sörfőzésben használható alapanyagokkal szemben. A törvény alapján a sörkészítésben csak 4 alapanyag használható fel: víz, maláta, komló és élesztő. Az alapanyagoknak természetesnek és magas minőségűnek kell lenniük, nem használhatók adalékanyagok. A kereskedelem fejlődésével a sörfőzés elterjedt egész Európában. A sör máig az egyik legnépszerűbb és legszéleskörűbben fogyasztott alkoholos ital a világon (Hornsey, 2003).

### 3.1.2. Sörgyártás alapanyagai

A sörgyártásban malátát, vizet, komlót, élesztőt, valamint pótanyagként egyéb anyagokat pl.: kukoricát, malátázás nélküli árpát is használnak. A *maláta* gyártás legfontosabb alapanyag a sörárpa, mely lehet kétsoros vagy hatsoros. Fontos tulajdonsága a beltartalma, mely biztosítja az alapanyagot a megfelelő minőségű malátához. Az árpa összetételét tekintve 80-88% szárazanyag tartalmú és 12-20% víztartalmú. Legfontosabb alkotórésze a szárazanyagnak a keményítő, ez teszi ki legnagyobb részét (60-65%) (Biacs et al. 2013).

*Pótanyagként* felhasználható anyagokat (malátázatlan gabonák, erjeszhető szénhidrátot tartalmazó szirupok) sokszor gazdasági okból alkalmazzák. Ezek az anyagok a malátázatlan árpa, mely csökkentheti a kész sör ízstabilitását és rontja a szűrhetőséget. Ez a hatás kiküszöbölhető enzimekhasználatával. Magas keményítő tartalma és kis oldható fehérje tartalma miatt rizst is használnak pótanyagként, befolyásolhatja a sör tulajdonságát. Kukorica és kukorica keményítő hidrolízisével előállított szörpök, szirupok is felhasználásra kerülhetnek, ezzel növelhető az extrakttartalom (Biacs et al. 2013).



2. ábra: Sör és a sörgyártás alapanyagai (Internet 2)

A felhasznált víz igen nagy jelentőséggel bír a végtermék érzékszervi tulajdonságainak kialakításában. A vízben oldott formában jelenlévő sók és oldott gázok befolyásoló hatással lehetnek az enzimes folyamatokra. A víz jellemzése szempontjából fontos paraméter a vízkeménység, melyet  $NK^\circ$ , azaz német keménység értékben adnak meg ( $1 NK^\circ = 10 \text{ mg CaO/liter}$ ). Továbbá befolyásoló paraméter a víz pH-ja, a lúgos pH hatással van az enzimek működésére, kedvezőtlenül befolyásolja az erjesztést. A megfelelő minőségű víz előállítására manapság számos modern vízkezelési eljárást áll rendelkezésre és alkalmaznak széleskörűen (Biacs et al. 2013).

A *komló* (*Humulus lupulus*) nélkülözhetetlen hozzávalója a sörkészítésnek, a sör jellegzetes keserű ízének kialakításáért felel. Az íz kialakítás mellett a kész sör számos egyéb tulajdonságára is hatással van, a benne lévő savak a javítják a sörhabot és mint régóta ismeretes a komló a sör természetes tartósítószer. Sörfőzésre a komlótozot a komló nőivarú egyedeinek virágát használják. A komlótozot kéméletes szárítást követően közvetlenül alkalmas söripari alapanyag. Azonban nem ez a gyakori söripari felhasználási formája. A komlótozotból préseléssel ún. pelletet állítanak elő, illetve kivonatolással extrakt állítható elő, mind a két módon előállított komlótermék használatos a sörfőzésben, könnyebben kezelhető a leveles komlóhoz képest (kisebb térfogat, könnyebb tárolhatóság). A komló értékes része a komlólisztben, a lupulinban található. A lupulinban található különböző komponensek adják a söripari értékét, így például az aromás, keserű, tartósító és fehérjekicsapó anyagok (Biacs et al. 2013).

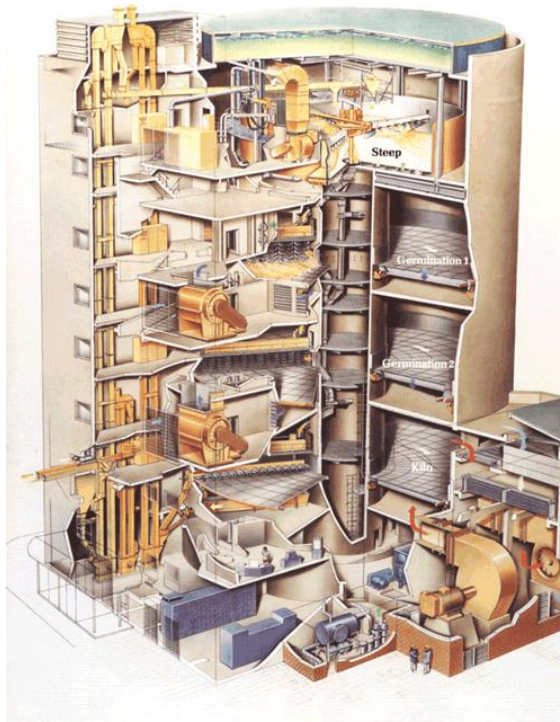
### 3.1.3. Maláta előállítás

A maláta alapanyag az árpa. A malátagyártás célja a sörgyártáshoz szükséges enzimek aktiválása és szintetizálása, melyek a gabonaszemekben tárolt anyagokból csírázáskor jönnek létre összetett biokémiai folyamatok eredményeként. Lényegében a malátázás mesterségesen létrehozott, szabályozott körülmények közötti csíráztatás. A csíráztatás követően zöldmaláta képződik, szárítással és aszalással keletkezik a maláta (Biacs et al. 2013).

Főbb műveleti lépései:

- *Tisztítás*
- *Osztályozás*
- *Áztatás*
- *Csíráztatás*
- *Aszalás*
- *Csíraeltávolítás*
- *Malátatisztítás*
- *Hűtés*
- *Tárolás*





3. ábra: Üzemi maláta előállítás (Internet 3)

Az árpát *tisztítani* szükséges, az aratást követően idegen anyagokat tartalmaz, minősége ebben a formában nem megfelelő a malátázáshoz. A tisztítást egy több részből álló berendezésben végzik. Az árpa nedvességtartalma, ami a megfelelő tároláshoz szükséges, a csírázáshoz nem elegendő. A tároláshoz szükséges 12-14% nedvességtartalom a gabonaszem életképességének fenntartásához elegendő csupán. A megfelelő víztartalmat biztosítani szükséges a csírázás megindulásához. Lehetővé kell tenni az árpaszem vízfelvételét. Az *áztatás* következményeképp a gabonaszem víztartalma megnő 44-48%-ra. A vízfelvétel hatására a szemek tulajdonsága megváltozik, rugalmasak lesznek, belsejükben apró üregek jönnek létre. Az áztatás vízigénye igen nagy. Két gyakori áztatási technológia használatos, az árasztásos és a permetezéssel, az áztatás ideje 24-36 óra (Biacs et al. 2013).

A *csírázás* biológiai folyamat mely során az árpaszemekben lévő tápanyag felhasználásával biokémia, kémiai folyamatok mennek végbe. A folyamatban több enzim vesz részt. Sejtfal bontást és vékonyítást hemicellulázok, a fehérjék bontását proteolitikus enzimek végzik. A proteolitikus enzimek közül az endopeptidázok a fehérjéket lebontva peptideket képeznek, az exopeptidázok a fehérjéket a lánc végén bontva aminosavakat hoznak létre.

A keményítő bontást amilázok végzik, a sörgyártás szempontjából ezek a legjelentősebbek, hatásukat legfőképp a cefrőzés során fejtik ki. A mag szerkezete, alakja az

enzimatis folyamatokban megváltozik, a csíra előbújik. A csíráztatás minőségi jellemzője, hogy a csíráztatás végére a gyököcske hossza maláta típustól függően háromnegyede (enzim dús maláta gyártásakor) vagy másfél-kétszerese (speciális maláták gyártásakor) a gabonaszemnek. Az előzőekben leírt összetett folyamatok alapján belátható, hogy a maláta minőségi jellemzőit az alapanyag tulajdonságain kívül a csíráztatás körülményei is meghatározzák. A csíráztatás ideális hőmérséklete 14-17 °C. Magasabb hőmérsékleten fennáll a penészképződés veszélye, alacsonyabb hőmérsékleten lassulnak, vagy nem mennek végbe enzimatikus folyamatok. A csíráztatás folyamán a megfelelő légösszetételt is biztosítani szükséges, fontos a megfelelő oxigén szén-dioxid arány. Csíráztatás átlagos ideje 5-7 nap. A folyamat végrehajtáshoz többféle berendezés is rendelkezésre áll a kisebb méretű dobcsíráztató berendezésektől a nagyméretű toronyrendszerű csíráztatókig (Biacs et al. 2013).

A csíráztatást követően el kell távolítani a magas víztartalmat *aszalás* segítségével az eltarthatóság növelése miatt. A biológiai-kémiai folyamatok a vízvesztés hatására a magban leállnak, a maláta állapota állandósul, összetételében nem következik be változás. Az aszalás során alakul ki a maláta jellegzetes színe és illata.

A lejátszódó folyamat név szerint a Maillard-reakció, mely jelentős szerepet játszik a komlóforralás során is, a szín és aroma anyagok képződésének következtében. A vízelvonás kétlépéses, fonnyasztásból és aszalásból áll. Fonnyasztáskor a víztartalmat 10% alá csökkentik <40°C-on. Maláta fajtától függően a víztartalmat aszaláskor 1,5-5%-ig csökkentik 85-105°C-on (maláta típustól függően), ilyen körülmények között a gabonaszemekben fizikai-kémiai átalakulások mennek végbe. Az aszalás időtartalma 18-20 óra.

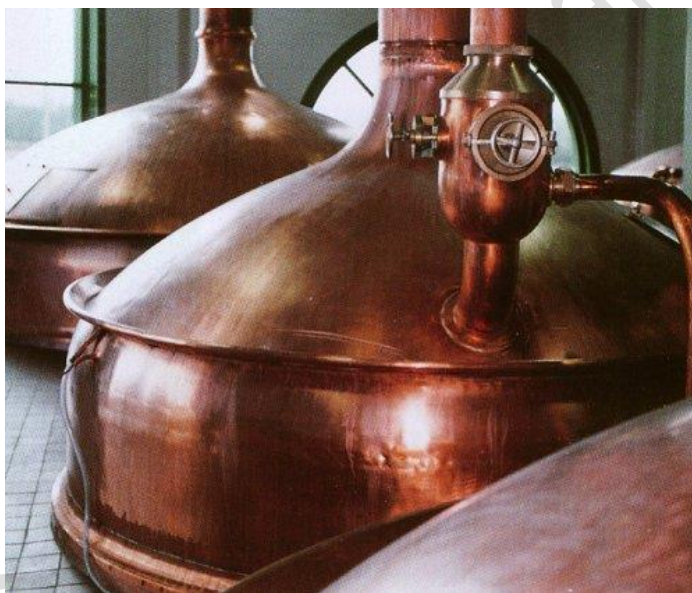
A *csíraeltávolítás* fontos lépés; a csíra minőségi problémákat okoz, eltávolítására különféle berendezések állnak rendelkezésre, mint például dobszíták. A dobszita lassú forgómozgást végez, a csírá egy nagyobb sebességgel mozgó szerkezet dörzsöli le, a csíra a dobból kihullik. A frissen előállt maláta sörfőzésre nem alkalmas, nem megfelelő minőségű sört eredményezne, ezért tárolni kell minimum 4 hétig felhasználás előtt, erre silókat használnak (Biacs et al. 2013).

#### **3.1.4. A sör**

Malátázást követően megérkezünk a főzőházba, ahol elkezdődhet sörlé előállítás, ezt követi az erjesztés, kondicionálás, szűrés és a kész sör fejtése. A sörlé összetétele szempontjából a *maláta őrlése* meghatározó. A sörlé összetétele (koncentrációja) hatással

van a keserűsavak hasznosulására is. Fontos a magbelső megfelelő őrlése, azonban a maghéj megőrzése a későbbi szűrés szempontjából jelentőséggel bír. A kívánt paraméterek eléréséhez nedvesőrlő berendezések használatosak, így a héj rugalmas lesz és leválik a gabonaszemekről. Az őrlött malátához vizet adva kapjuk a cefrét. A *cefrzés* során a cefre megfelelő hőmérsékleten való tartásával megfelelő oldott anyag (extrakt) tartalmú sörlevet kapunk.

Az első hőmérséklet 52-55 °C, mely a fehérjebontó enzimek kedvező működési hőmérséklete. A koagulálódott fehérjék a komlóforralás során a forróseprő képződés miatt csökkentik az alfa-sav hasznosulást adszorpció révén. A következő hőmérsékleti pihenő a 62-65 °C mely a  $\beta$ -amiláz optimális tartománya, végül pedig az  $\alpha$ -amiláz következik 73-75 °C-on. A cefrzés ideje 4-5 óra, ezt követi a szűrés (Biacs et al. 2013).



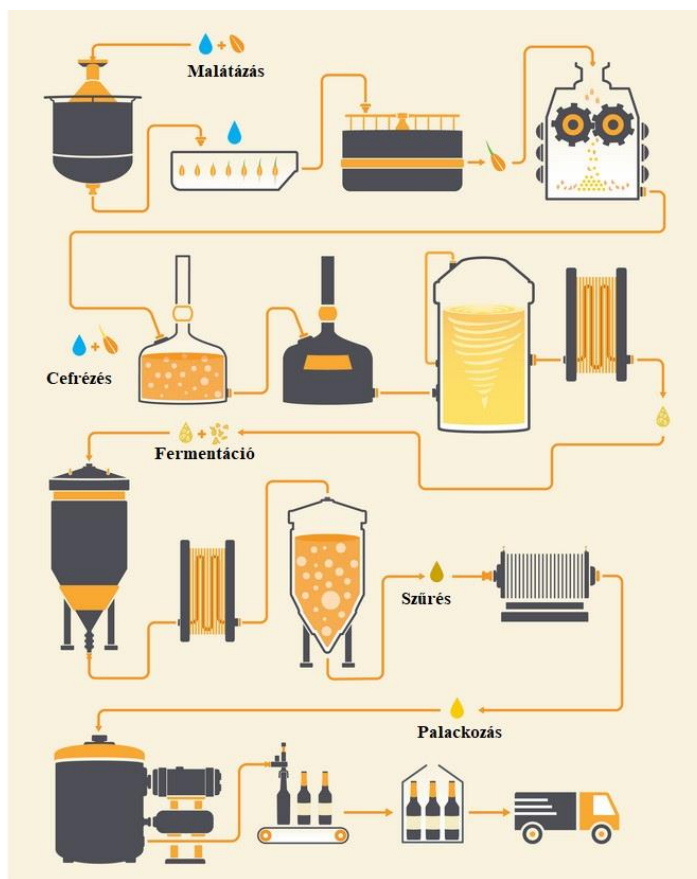
4. ábra: Réz sörfőző üst (Internet 4)

A *cefrésűrés* során a sörle kinyerése két lépésben történik. A sörlevet kiszűrjük (színlé elvétel), majd a kialakuló szűrőágyat melegvízzel mossák a teljes sörle kinyeréshez, ez az úgynevezett másolás. A szűrőkád perforált fenéklemezzel rendelkező berendezés. A cefre ideális szűrési hőmérséklete 75-78 °C, ezen a hőmérsékleten megfelelő a viszkozitás, illetve a még aktív  $\alpha$ -amiláz további extrakt kinyerését teszi lehetővé. A cefrét addig cirkuláltatják, amíg megfelelő tisztaságú levét kapnak. A perforált szűrőkád mellett léteznek egyéb folyamatos szűrésre alkalmas berendezések is (pl.: keretes szűrőprés). Szűrést követően a komlóforraló üstbe kerül a sörle. A *komlóforralás* során a kiszűrt színlevet és máslovizet forralják komlópellet vagy leveleskomló hozzáadását követően, de használható

komlókivonat is. A komlóforralás légköri nyomáson történik 100 °C hőmérsékleten 60-90 percig. Az alfa-sav hasznosulás miatt a komlóforralás hőmérséklete és ideje nagyon fontos.

Léteznek zárt rendszerű, nyomás alatt lévő forralóberendezések is, melyekben magasabb hőmérséklet érhető el (135-140 °C), ebben az esetben a forralás ideje néhány perc. A komlóforralás célja a komló értékes alkotórészeinek a sörlébe juttatása és átalakítása (izomerizációja) (alfa-sav – izo-alfasav). Célja továbbá a koaguláló fehérjék kicsapása, (ez az adszorpció miatt kedvezőtlen hatással van az alfa-sav hasznosulásra), enzimek inaktiválása, valamint a megfelelő sörlé koncentráció kialakítása a felesleges víz elpárologtatása által, általában a párolgási veszteség 6-10%. A komlóból kioldódó savak hatására a pH kis mértékben csökken. A komlózás több lépésben történhet, a teljes komlómennyiség hozzáadás a forralás kezdetén eredményezi a legkisebb keserűanyag tartalmú terméket. A három részletben komlózott sörlé illatosabb, karakteresebb, keserűbb ízű sört eredményez. Az íz és illat mellett a forralás színváltozással is jár, a sörlé színe sötétebbé válik (a már említett kémiai reakció miatt) (Biacs et al. 2013).

A forralás során keletkező forróseprőt örvénykádban választják el, ennek sörlétartalma veszteséget okozhat. Jól kialakított üzemekben a forró seprőt a technológiába visszavezetik a veszteségek csökkentése érdekében. A forró seprő nitrogén tartalmú anyagokból keletkezik a forralás hatására, képződését elősegítik a polifenolok. A forralást követően a sörlé hőmérsékletét csökkenteni szükséges az *erjesztés* hőmérsékletére, mely az erjesztést végző sörlesztő típusától függően 8-13 °C (alsó erjesztés) vagy 18-25 °C (felső erjesztés) lehet.



5. ábra: Sörkészítés folyamata (Internet 5)

Az erjesztést *Saccharomyces cerevisiae* (felsőerjesztésű) vagy *Saccharomyces pastorianus* (alsóerjesztésű) fajba tartozó sörélesztők végzik, a sörlében található cukrok bontásával anaerob körülmények között. Az erjesztés során a cukorból hőfejlődés közben alkohol és szén-dioxid keletkezik. Az élesztő mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy 5-6 °C-on 12-16 órán belül jelentkezzenek az első erjedésre utaló jelek. Klasszikus technológiában az erjesztés két lépésből áll, egy fő- és egy utóerjesztésből. A főerjesztés zárt kádban vagy tankban 5-10 °C-on 6-10 nap, de magasabb hőfokon, nyomás alatt az erjedési idő csökkenthető. Utóerjedés (-2)-2 °C-on 2-16 hétig tarthat a sör típusától függően. Nyomás alatt a főerjedés általában 10-15 °C-on 3-7 nap alatt lejátszódik, a kondicionálás -2 °C-on 2-4 napot vesz igénybe. Az erjesztés során értelemszerűen az extrakt tartalom csökken. Az erjedés követését cukorfok mérése és hőmérséklet segíti. Ha az erjedés lezajlott, a sört szeparátoron keresztül a kondicionálóba vezetik.

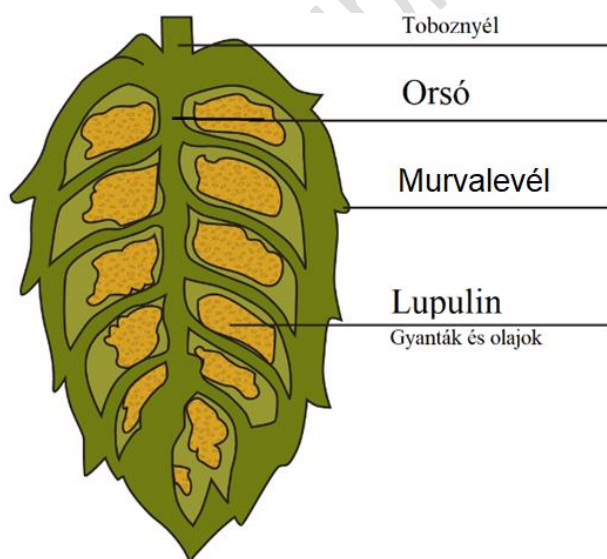
A szűrés célja a sör tartósságának növelése, valamint tükrös, áttetsző sör nyérése. A sört a szén-dioxid veszteség megakadályozása miatt lehűtik kb. -1 °C-ra és palackozásig nyomás alatt tartják. Szűrés során eltávolítanak minden olyan anyagot, mely zavarosságot okoz, élesztőt, koagulálódott fehérjét. Gyakori megoldásként szűrési segédanyagokat alkalmaznak perlitet vagy kovaföldet, a szűrés hatékonysága javítható gyertyás szűrők alkalmazásával is.

A kész sört szűrés után nyomótartályokba szivattyúzzák, ahonnan kiserelésre kerül a kívánt kiserelési egységbe (Biacs et al. 2013). A sör izo-alfasav tartalma az erjesztés, a sörélesztő szűrés és ezt követő műveletek során csökken, további alfa-sav hasznosulás csökkenést eredményezve amíg eljutunk a kész sörhöz.

### 3.2. A komló

A komló (Lat.: *Humulus lupulus*) a kenderfélék családjába tartozó kétlaki, évelő növény. Söripari célra a meg nem termékenyített nőivarú virágzat használatos. A komló virágot szüretelést követően szárítják kíméletes körülmények között, ebben a formában már sörkészítés során felhasználható.

Az ipari célú felhasználásra az előnyösebb tulajdonságok kialakítása miatt számos nemesített komlófajta létezik. A nemesítés során a cél, hogy a komló ellenálló legyen a betegségekkel szemben, valamint magasabb hatóanyag tartalmat érjenek el (pl.: alfa-sav, komlóolaj).



6. ábra: Komlótohoz felépítése (Internet 6)

Az orsó a toboznyél folytatása, a murvalevelek ebből indulnak. A lupulin a murvalevelek által védett sárgás színű ragadós szemcsék ezek tartalmazzák az ízt és aroma adó komponenseket.

*Szárított komló jellemző összetétele:*

Keserű anyagok	10-23%
Komló olajok	0,5-2%
Komló cseranyagok	4-14%
Víz	10%

Söriparban többféle típusú komlót és azokból készült komlókészítményeket használnak. Típus szerint a komló lehet keserű- és aromakomló, illetve duál komló. A keserű komló magas alfa-sav tartalommal ( $\geq 5\%$ ) rendelkezik, míg az aromakomló főképp aroma adó komponensekben gazdag és kisebb alfasav tartalommal rendelkezik (3-5%). A duál komló mindkét értékes komponenst nagy mennyiségben tartalmazza. Fontos megemlíteni, hogy a komló számos pozitív élettani hatással is rendelkezik a benne található különböző anyagoknak köszönhetően. Ezek közül kiemelném a stresszoldó, nyugtató és főképp az altató hatást, melyet egy-két sör elfogyasztása után biztosan mindannyian éreztünk már.

### **3.3. Komlókészítmények**

A komlópellet a leggyakrabban használt feldolgozott komlóforma, a világ komlótermelésének csaknem 60%-át teszi ki a komlópellet gyártás. A pelletet a leveleskomlóból gyártják 3 különböző formában.

Standard vagy „Type 90” (T90) pellet, melynek neve a kihozatalra utal (90%), miután eltávolították a felesleges nedvességet és idegen anyagokat a préselés előtt (tehát 100 kg komlóból 90 kg komlópellet keletkezik). A gyártás fizikai lépéseket foglal magában, a komlót összekeverik, szükség esetén újra szárítják, eltávolítják az idegen anyagokat, kalapácsos malom segítségével őrölik, majd a keletkezett komlóport egy résen préselik át. A pelleteket ezután megfelelő vákuum csomagolással látják el. A T90-es pelletforma az eredeti szárított komlóhoz képest a legkevesebb változáson (csak fizikai) megy keresztül, ezért összetételében nagyon hasonlít a leveleskomlóhoz (Bamforth, 2016).

Koncentrált vagy „Type 45” (T45) komlópellet gyártás esetén a levélzet egy részét eltávolítják. Az eltávolítást megelőzi egy őrölési lépés, majd  $-20\text{ °C}$ -on egy vibráló asztalon vezetik át az őrleményt, melynek során két frakcióra válik. Az egyik frakció a lupulin a másik a levél frakció. A levél frakció számított mennyiségét a lupulinhoz adják, ez könnyebben kezelhetővé teszi a ragacsos lupulin frakciót. A keletkezett keveréket pelletezik, majd vákuumcsomagolással látják el. A T45 előnye a T90-hez képest, hogy kisebb a tömege és térfogata. Kisebb vegyianyag és nehézfém tartalma van az eltávolított levélnek

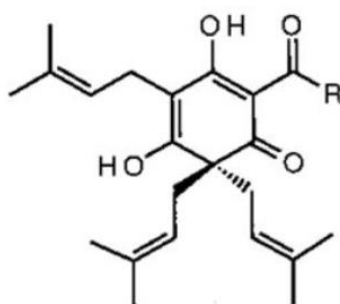
köszönhetően. Azonban hátrányként elmondható, hogy a polifenolok jelentős része is eltávolításra kerül (ugyanis ezeket főképp a levelek tartalmazzák), mely a végtermékben minőségi problémákat okozhat (Bamforth, 2016).

Előre izomerizált vagy izopelletek olyan pellet, melyben az alfa-sav egy része izo-alfasavvá alakul a gyártási folyamat során. Ezt úgy érik el, hogy számított mennyiségű magnézium-oxidot adnak a ledarált komlóhoz, összekeverik, majd pelletéznek. A pelleteket tartalmazó csomagokat temperálják 45-55 °C-ra 8-14 napig, mely során a jelenlévő magnézium ionoknak köszönhetően lezajlik az izomerizáció. Vizsgálati eredmények alapján nincs ízbeli eltérés az izopellettel, valamint T90 pellettel gyártott sör között, azonban a hasznosulás jóval nagyobb 50-60%, a T45 és T90 esetén ez az érték 30-35% (Bamforth 2016).

### 3.4. A komló további összetevői

A diplomamunka a komlóban található alfasavakra fókuszál, de fontos megemlíteni a komlóban található további komponenseket is.

Az alfa-savak mellett a komlóban *bétasavak* is megtalálhatók, a béta-sav tartalom kisebb az alfasavakhoz képest, az alfa- és béta-sav arány a komló fajtájától függ. A béta-savakat lupulonnak is nevezik, az alfa-savhoz hasonlóan több homológja létezik, melyek közül a legfontosabbak a: lupulon, kolupulon és az adlupulon. Ezek oldhatósága igen rossz és a forralás során jelentős részük eltűnik, a kész sörben körülbelül 1 mg/l mennyiségben találhatóak csak meg. A béta-savak izomerizációja még extrém forralási körülmények között is csekély mértékben megy végbe. A béta-savak általános szerkezete az 7. ábrán látható. Eltérés az alfasavhoz képest a 6-os helyzetű szénen lévő oldalláncban van, az alfasav esetén hidroxil csoport, a béta-sav esetén két prenil csoport található, a 9. ábrán bemutatott mechanizmus alapján, véleményem szerint ez az oka, hogy még extrém forralási körülmények között sem történik meg az izomerizáció (Bamforth 2016).



7. ábra: Bétasav szerkezete

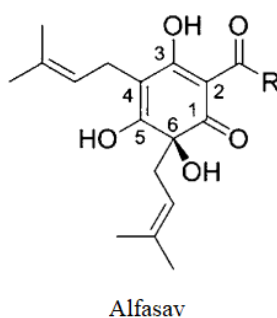


A sör aromájának és ízének kialakításában részt vesznek a *komlóolajok* is. A komló gázkromatográfiás vizsgálata során több, mint 300 féle kémiai anyagot mutattak ki a komlóolajban. Az olajban lévő alkotórészek 3 nagy csoportba oszthatók: terpének, oxigént tartalmazó frakciók és ként tartalmazó frakciók. A terpének nagyon illékony anyagok, a forralás során jelentős részük eltávozik, a többi a fermentáció során a szén-dioxid képződés hatására távozik el. Az oxigént tartalmazó frakciók szerepet játszanak a komlós íz kialakulásában, ide tartoznak a terpénszármazékok: alkoholok, ketonok, aldehidek, észterek, habár oldhatóságuk jobb a terpéneknél a végtermékben igen kis mennyiségben vannak csak jelen. Néhány kéntartalmú vegyület is megtalálható a komlóolajban ezek jelenléte negatív hatással van a sör ízére (Bamforth 2016).

A *polifenolok* pozitív hatással lehetnek a sör ízére, szerepet játszanak az ízstabilitásban. A polifenolok fanyarságot okozhatnak, mely káros a sör érzékszervi tulajdonságaira. Azonban vannak bizonyítékok, hogy a kisebb molekulatömegű polifenolok antioxidáns aktivitást biztosítanak a sörben, ezáltal fokozva az ízstabilitást (Bamforth 2016).

### 3.5. Alfa-sav

Az alfa-sav a korábbiakban már említettek szerint a komló tobozában, azon belül is az azt borító sárgás-zöldes porban, a lupulinban található. A lupulinban megtalálható fő alfa-savak a humulon, kohumulon és az adhumulon (az R-rel jelölt oldallánc függvényében – 8. ábra). Ezek közül is a legjelentősebb a humulon. Az alfa-savak floroglucin származékok két prenil csoporttal és egy izovaleril csoporttal (Urban, 2012).



8. ábra: Alfasavak általános szerkezete (Urban, 2012).

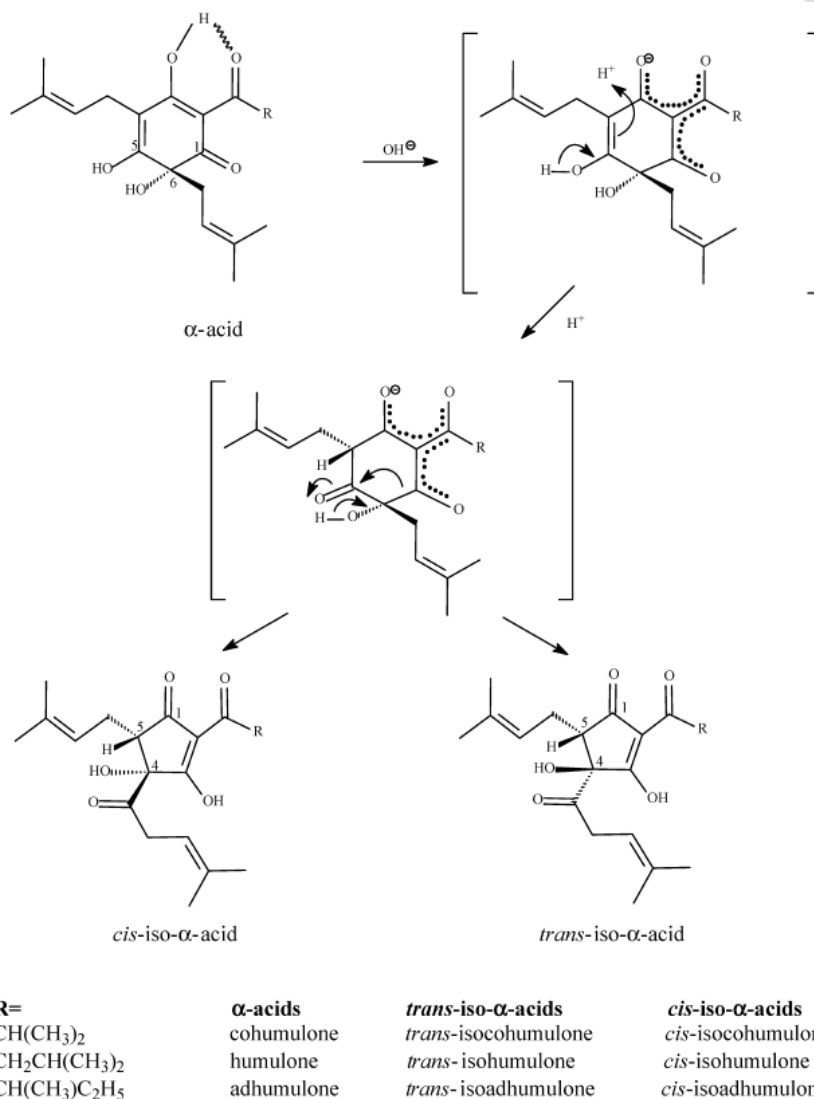
A sör jellegzetes keserű és komlós ízének kialakulásáért a komlóból származó és átalakuló alfasavak és illóolajok felelősek. A legfontosabb kémiai átalakulás az alfasav

átalakulása, amely a komlóforralás során a hőmérséklet hatására következik be, ezt termikus izomerizációnak hívjuk. Az izomerizáció hatásfoka a következő sorrendben csökken:



Az izomerizáció kezdeti hőmérséklete 60-70 °C, a hőmérséklet emelésével az izomerizáció sebessége nagymértékben nő (Jaskula, 2008).

A hőmérséklet hatására a komlóban lévő alfasavak átalakulnak a keserű ízt eredményező izo-alfasavakká, a reakció elviekben reverzibilis (Aitken, 1969). Az izomerizáció egy aciloin típusú reakció, melyben az átrendeződés során az alfasav 6 szénatom tartalmazó gyűrűje 5 szénatomot tartalmazó gyűrűvé alakul (Jaskula, 2008). (9. ábra)



9. ábra: Alfasav izomerizáció mechanizmusa (Jaskula, 2008)

Az izo-alfasavak két kiralitás centrummal rendelkeznek a 4-es és 5-ös helyzetű szénatomon. Az alfasav izomerizációja során kétféle epimer terméket eredményez, transz és

cisz izo-alfasavakat, ezek csak egyetlen kiralitáscentrum – a négyes számú szén – konfigurációjában különböznek. A sörben ennek következtében 6 fő izo-alfasav van jelen izo-kohumulon, izo-humulon és izo-adhumulon cisz- és transz formái. A keletkező izomerek arányát a sörlé összetétele befolyásolja. A végtermék szempontjából a cisz forma a kedvező, ugyanis ez rendelkezik nagyobb termodinamikai stabilitással az oldalláncok helyzete miatt. Transz forma esetén létrejöhet autooxidáció az oldalláncok elrendeződésének következményeképp (Bastgen, 2021). A komlóforralás során az alfasav izomerizáció hozama meglehetősen alacsony, kb. 50-60% és főzésről főzésre eltérő lehet. Az alacsony izomerizáció oka az alfasav korlátozott oldhatósága a sörlében (84-250 mg/L, 100 °C-on pH=5) (Bastgen, 2021; Hall, 1996), az izomerizáció nem teljesen játszódik le a forralás során, valamint az alfasav és izo-alfasav adszorpciója a keletkező forróseprőn. További befolyásoló tényezők a pH, a sörlé sűrűsége és koncentrációja, felhasznált komló típusa, kora, komlózási arány (komló mennyisége), a kétértékű kationok jelenléte, a forralás ideje és hőmérséklete (Jaskula, 2008). Valamint szerepet játszik még az izo-alfasavak oxidatív és nem oxidatív degradációja is a főzés során (Bastgen, 2021).

A befolyásoló tényezők részletes kifejtése a 3.7. pontban található.

Az alfasav hasznosulás jelentősen kisebb az izomerizáció hozamától. A végső érték 30-40%, de előfordul 10-20%-os hasznosulás is. Ezt a sörfőzés további folyamatai befolyásolják, úgymint a fermentáció, érlelés és a sör szűrése. Éppen ezért a sörfőzés során nagyon fontos a pontos komlózási arány számítás, hogy a megfelelő keserűértékű terméket eredményezze.

Fontos, hogy különbséget tegyünk az alfasav hasznosulás (ang.: utilization) és az alfasav izomerizáció hatásfoka között. Az izomerizáció hatásfoka azt mutatja meg, hogy a hozzáadott teljes alfasav mennyiségének hány százaléka izomerizálódott izo-alfasavat eredményezve. Azonban az izo-alfasav mennyisége a sör előállítás során tovább csökken, tehát a hasznosulás az izomerizáció hatásfokával nem egyenlő, értéke tovább csökken. Az alábbi képlet alapján számolható a hasznosulás:

$$\text{Hasznosulás} = \frac{\text{izoalfasav mennyisége a kész sörben}}{\text{Teljes hozzáadott alfasav}} \times 100$$

E formula alapján az eredményt százalékban kapjuk meg. A teljes hozzáadott alfasav mennyisége ismert, a hozzáadott komló mennyiségéből és az alfasav tartalomból (%)

könnyen számítható. Az izo-alfasav mennyisége a termékből megfelelő előkészítést követően spektrofotometriás (UV) mérésrel jó közelítéssel meghatározható.

### 3.6. Keserűérték számolás (IBU)

Az IBU rövidítés az angol International Bitterness Unit-ból származik (Nemzetközi keserőségi egység). Ez a keserűség mértékegysége. Az IBU pontosan megadja a sörben lévő izo-alfasavak mennyiségét (Hall, 1996).

$$1 \text{ IBU} = 1 \text{ ppm izo-alfasav, azaz } 1 \text{ mg izo-alfasav/L sör}^4$$

IBU számolás formula:

$$IBU = \frac{(\text{alfasav hasznosulás}\% * m_{\text{komló}} * C_{\text{alfasav}} * 1000)}{V_{\text{sörlé}}}$$

- alfasav hasznosulás %-ban megadva (általában 35% körül)
- $m_{\text{komló}}$ : felhasznált/felhasználendő komló tömege g-ban megadva
- $C_{\text{alfasav}}$ : felhasznált komlóalfasav tartalma %-ban megadva
- $V_{\text{sörlé}}$ : sörlé (fermentálatlan sörlé) térfogata literben

A képlet segítségével számolható a szükséges komló mennyisége az elérni kívánt IBU érték függvényében.

### 3.7. Alfasav hasznosulást befolyásoló tényezők

Az alfasav hasznosulást nehéz pontosan megbecsülni a számos befolyásoló tényező miatt. A korábban említettek alapján el kell különítenünk azokat a paramétereket, melyek az alfasav izomerizációra vannak hatással, és azokat melyek a sör előállítás során az izo-alfasav mennyiségének csökkenését eredményezik.

Irodalmi adatok alapján az alfasav izo-alfasav átalakulási arány 35-60% között mozog a komlóforralás során. Ez az érték tovább csökken, amíg a kész sörhöz jutunk, nem lesz megegyező a hasznosulással. Az izomerizációt gátolja az alfasavak *kioldódása* a komlóból, valamint az alfasavak *oldhatósága* a cefrében.

Az oldhatóság egy gyakran vizsgált paraméter. A szakirodalomból kiderül, hogy az alfasavak oldhatóságát befolyásoló legfontosabb paraméter a cefre *pH*-ja. A vizsgálatok során kimutatták, hogy minél magasabb a pH (lúgos) annál jobb az oldhatóság és magasabb az izomerizáció foka, pH=12 felett jelentős izo-alfasav degradációval kell számolni. Azonban belátható, hogy ilyen magas pH érték a sörfőzésben nem használható, a sörfőzést megelőző előre izomerizált komlótermékek előállítására azonban igen (Bastgen, 2021).

Továbbá az izo-alfasavak oldhatósága is befolyásoló tényező, emellett az *adszorpció* is befolyásoló hatással van a hasznosulásra és izomerizációra is. Adszorpció alatt az alfasavak és izo-alfasavak adszorpcióját értjük a forralás során keletkező forróseprőn. Kolloidkémiai vizsgálatokból továbbá kiderül, hogy koagulálódott fehérjék, keserűsavak erős adszorbereként viselkednek.

Az alfasavak és izo-alfasavak *termikus degradációját* is szükséges megemlíteni a forralás során, mint a hasznosulást és izomerizációt befolyásoló tényezőket. A késztermék tárolás során az *UV fény* is káros hatással van a sörre az izo-alfasavak degradációját okozza. Enne kiküszöbölésére többféle módszer létezik a söriparban (Bastgen, 2021). A legegyszerűbb a barna üvegben, zárt helyen való raktározástól egészen a különböző kémiai komponensek hozzáadásáig.

A *kétértékű kationok* használatáról az előre izomerizált komlópellet előállítás során már írtam, az alapján is látható, hogy a kétértékű kationok hatással vannak az izomerizációra. A vizsgált kationok közül az élelmiszeriparban hasznosítható a magnézium- és kalcium-ion. Irodalmi adatok alapján a magnézium-ion hozzáadása nem okozott melléktermék képződést vagy a keletkezett izo-alfasavak degradációját. A söriparban magnézium-szulfát formájában használják az előre izomerizált komlótermékek esetében magnézium-oxidot vagy hidroxidot használnak (Bastgen, 2021).

Érdekességként megemlítendő, hogy a szakirodalomban fellelhetők fotoizomerizációra vonatkozó kísérletek, mely során egy sugárforrást alkalmaznak (megfelelő paraméterekkel pl.: hullámhossz), ezzel besugározva a sörlé mintát az alfasav izomerizáció hatásfoka javítható.

További érdekesség (és gyakorlati alkalmazásra is volna lehetőség) az ultrahang alkalmazása. Ennek technikai megvalósítása manapság nem igényel különösen bonyolult eszközöket. Az ultrahanggal segített extrakcióról számtalan irodalmi forrás áll rendelkezésre, de a söriparban nem terjedt el (Bastgen, 2021). A leírtak alapján számos új és már használatban lévő technika áll rendelkezésre a keserűsavak hasznosulásának javítására.

## 4. Anyagok és módszerek

### 4.1. Alapanyagok

#### *Víz*

A sörfőzés során kezeletlen csapvizet alkalmaztam, vízkeménység mérést nem végeztem, a víz átlagos hőfoka 12-16 °C, átlagos pH= 7,4.

#### *Maláta*

Viking Malt cégtől származó roppantott bécsi malátát használtam a főzésekhez. A maláta Finnországban készült. A 3 főzéshez 15 kg malátát használtam fel. A bécsi malátára jellemző, hogy magasabb hőmérsékleten aszalják, mint a Pilsner típusút, így enzimaktivitása alacsonyabb.

A maláta specifikációja: (Internet 7)

Nedvességtartalom	%	max. 5,0
Kihozatal	% dm	min. 79,0
Szín	°EBC	7-10
Szabad amino nitrogén	mg/l	min. 130
Porhanyósság	%	min. 80
Fehérje	% dm	max. 12,5

#### *Komló (Leveles és Pellet)*

Spalter select komlót használtam leveles komló és pellet esetén is. A leveles komlót (105 g) fagyasztva, vákuumozott leforrasztott PE zacskóban kaptam. Magyarországon termelt 2021-ben. A komlópellet T90-es típusú, 2x50 g-os kiszerezésben levákuumozott triplex tasakban érkezett, 2020-as termés.

A Spalter select komlót 1980-as évek végén Németországban nemesítették, azzal a céllal, hogy egy javított kihozatalú, betegségeknek jól ellenálló komlót kapjanak. A Spalter select a Spalt és Hallertau fajták keresztezéséből született. Ellenáll a verticilliumos hervadásnak, a peronoszpórának.

Néhány jellemző tartalmi adat (Internet 8):

*Alfasav: 3,5-5,5 w/w%      Bétasav: 6,2 w/w%      kohumulon: alfasavak 25,8%-a*  
*Teljes olajtartalom: 0,5-0,9 ml/100g*



10. ábra: Leveleskumló és kumlópellet (Internet 8)

#### 4.2. Eszközök, vegyszerek

*30 literes zománczott főzőedény fedővel*



11. ábra: Fazék fedővel

*Cefrészőzsák és kumló forralózsák*

30 literes sűrű szövésű cefrészőzsák, üstben való főzéskor nagyban megkönnyíti a törköly eltávolítást a főzés végén. A kumlóforraló zsák kisméretű, zoknira emlékeztető kisméretű rugalmas textilzsák.

*Jód,  $\text{NaHCO}_3$  és Citromsav*

A felhasznált vegyszerek rövid leírását az otthoni sörfőzési körülmények miatt találtam fontosnak.

A cefrőzés során a keményítő bontás követését gyógyszerárban megvásárolható Betadine jódkomplex sebfertőtlenítővel végeztem, ha a keményítő jelen van, akkor kialakul egy keményítő-jód komplex mely sötétkékes színű, amennyiben nincs jelen keményítő, úgy a jód vöröses színe látszik, jelezve a teljes keményítóbontást.

A sörlé savas pH beállítására citromsavat használtam, mindenképpen fogyasztásra alkalmas, élelmiszeriparban használatos szerves savat szerettem volna használni, a citromsav boltban is könnyen beszerezhető nem oxidáló, nem mérgező sav, természetben előforduló, számos élelmiszer előállítása során használják.

A sörlé lúgos pH beállítására is az előzetesen leírt kritériumoknak megfelelő anyagot szerettem volna használni, ezért esett a választás a  $\text{NaHCO}_3$ -ra azaz a szódadikarbónára. A szódadikarbóna vízben lúgosan hidrolizál, ez megfelelővé teszi a lúgos pH beállítására, azonban magas hőmérséklet hatására bomlik szén-dioxid gáz fejlődése mellett, ez a komlóforralás során csekély habzást okozott.

#### *Kézi pH mérő, hőmérő és mérlegek.*

Internetről vásárolt kalibrálható kézi pH mérőt alkalmaztam, laboratóriumi pH-mérővel összehasonlítva a vizsgált pH tartományban megfelelően pontosnak bizonyult. A hőmérséklet mérésére egyszerű analóg bimetál húshőmérőt használtam.

Az 5 kg feletti mérésekhez 0,1 kg osztású digitális fürdőszobai mérleget használtam. Az 5 kg alatti mérésekhez 0-5000 g méréstartományú, 0,5 g osztású konyhai mérleget használtam.

### **4.3. Sörlé előállítás és mérési módszerek**

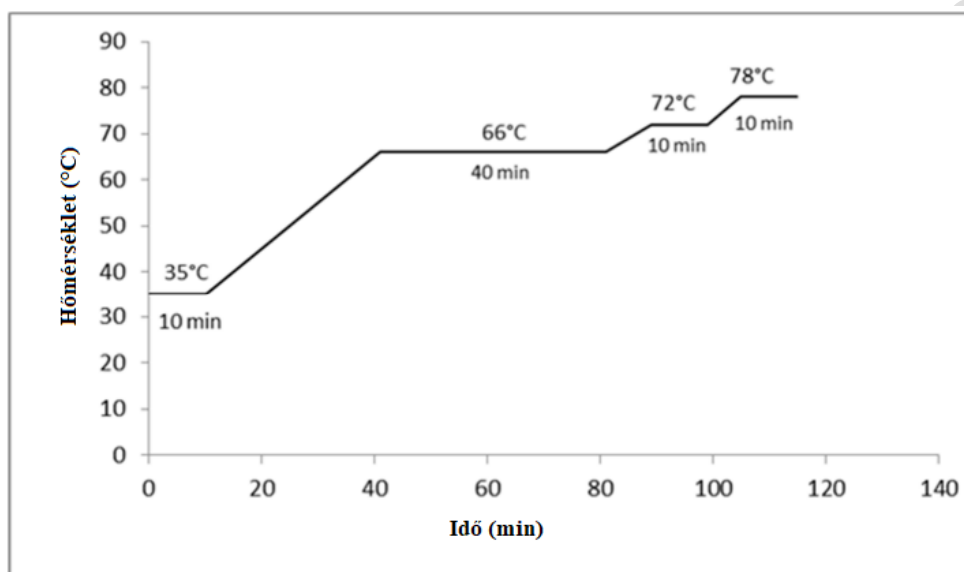
#### **4.3.1. Kísérleti terv**

Az otthoni cefre- és sörfőzés limitáló tényezője legtöbb esetben – az én esetemben is – a főzőedény térfogata. Ezért a kiválasztott arányok alapján úgy választottam meg a maláta és víz mennyiségét, hogy megfelelően kezelhető legyen. A 30 literes edény térfogat az általam választott maláta:víz (1:3,5) aránnyal 5 kg malátával és 17-18 liter vízzel tervezett főzést tett lehetővé. A főzési veszteséggel és a törköly miatti veszteséggel a sörlé várható mennyiségét kb. 15 literre becsültem.

Három egyforma méretű és paraméterű főzést terveztem. A kész cefrét pH állítás után (két esetben történik pH állítás) két 5 kg-os részletre osztom, így azonos mátrixban történhet a kétféle komló forralása, jobb összehasonlíthatóságot biztosítva. A tervezett pH tartományok 4,0-4,5 valamint 6,5-7,0-es volt, a kiindulási cefre pH-ja átlagosan 5,5 körüli. A savas tartományba történő pH állítást citromsavval, a lúgos tartomány felé való pH állítást  $\text{NaHCO}_3$ -al terveztem állítani.



A komlóforralást (sörlé) kilónként 2 g komlóval terveztem. A térfogatok helyett a tömegméréseket pontosabbnak találtam, így a komlóforralás előtti és utáni mennyiségek is tömegben kerülnek rögzítésre, sűrűség mérést követően könnyen megállapítható a pontos térfogat. A három főzésből összesen 9 db mintát terveztem venni, kész cefréből pH állítás után (ahol volt), valamint a komlóforralásokat követően. A mintákat azonnal fagyasztozóba kell helyezni és tárolni a mérésekig.



12. ábra: Cefrőzés hőmérsékletprofilja

#### 4.3.2. Keserűérték meghatározás

Az izo-alfasavak mennyiségének meghatározására szolgál. A sósavval megsavanyított cefréből izo-oktánnal a keserű savak kiextrahálhatók és mennyiségük spektrofotometriásan megmérhető 275 nm-es hullámhosszon (UV tartomány).

*Szükséges anyagok és eszközök:*

- Sósav oldat
- Centrifuga csövek, pipetták
- Centrifuga, spektrofotométer
- Izo-oktán
- Üveggolyók

A vizsgálatot megelőzően a szobahőmérsékletű mintákat gáztalanítani szükséges, ezt kézi rázogatóval végezzük. A mintákat kovaföldet tartalmazó redős szűrőpapíron le kell szűrni.



13. ábra: Sörlé szűrés

10 ml cefremintát pipetázunk centrifugacsőbe, majd 0,5 ml 6 n sósavasat adunk hozzá. A sósav hozzáadást követően 20 ml izo-oktánt és néhány darab üveggolyót adunk hozzá. A centrifugacsöveket lezárást követően 15 percig kézi rázogatóssal gáztalanítjuk, majd ezt követi a centrifugálás (kb.: 6000/min fordulaton). A spektrofotometriás abszorbancia mérés kvarc küvettákban történik 275 nm-es hullámhosszon, ahol vak mintaként izo-oktánt alkalmazunk.

*Mérési eredmény kiértékelése:*

$$\text{Keserű érték} = \text{abszorbancia} * 50$$

Az eredmény megadása egész számra kerekítve történik.

#### 4.3.3 Extrakttartalom meghatározása

A sörlevek extrakttartalmának és sűrűségének meghatározása Anton Paar Alcolyzer Plus analízátorral történt. A készülék részét képezi egy söranalizátor alap berendezés (Alcolyzer Plus) és egy U csöves sűrűségmérő (DMA 4500).



14. ábra: Alcolyzer Plus készülék

*Készülék működése:*

A sörle *sűrűségmérésére* egy U csöves oszcilláló sűrűségmérő segítségével történik. Az eredmény a kijelzőn olvasható le öt tizedes pontossággal, méréstartomány: 0-3 g/cm<sup>3</sup>.

A készülék az alkoholtartalom mérést NIR spektrométer segítségével végzi. Ezt követően egy algoritmus segítségével számolja ki az alkohol koncentrációt. Mérési tartomány: 0-12 ttf%. Az így kapott értékből a berendezés további közel 30 paramétert számol ki, többek között: valódi extrakt-tartalom(m%), látszólagos extrakt-tartalom (m%), eredeti extrakt-tartalom (Plato%).

*Mérés menete:*

A mérés előtt buborékmentes vízzel ellenőrizni kell a készüléket, hogy mérésre alkalmas állapotban van-e. A megfelelő paraméterek esetén a készülék használható. A buborékmentesített mintából kb. 20 cm<sup>3</sup>-t kell befecskendezni (buborékmentesen) a sűrűségmérő készülékbe. A mérést a készülékhez tartozó számítógépes programmal lehet elindítani, készülék a mintát 20 °C-ra temperálja, majd ezután történik a mérés. A mért adatok a készüléken és a számítógép kijelzőjén közvetlenül olvashatók le, illetve a mérési adatok a számítógépről lementhetők.

#### 4.3.4. Komlópellet alfasav tartalmának meghatározása

A komlóban található alfasav tartalom toluolos extrakciót követően meghatározható. A hígított toluolos kivonat spektrofotometriásan vizsgálható.

*Szükséges anyagok és eszközök:*

- Toluol
- 6n Nátrium-hidroxidos metanol
- Termosztálható rázó gép
- Analitikai mérleg
- Metanol
- vakoldat (Toluol, MeOH, lúgos MeOH)
- Centrifuga, spektrofotométer

*Meghatározás menete:*

Szükséges anyagok előkészítése után, a komlópelletet a megfelelő extrakció miatt el kell porítani. Analitikai mérlegen 2,5 g elporított komlópelletet mérünk ki csiszolatos Erlenmeyer lombikba, majd 50 ml toluolt mérünk rá, ezt követően a lombikot rázó gépre helyezük és 30 percig rázatjuk.

30 percet követően a mintát centrifugacsőbe helyezük és 10.000 rpm sebességgel lefugáljuk. A fugálást követően a tiszta folyadék részéből 5 ml-t pipetázunk 100 ml-es mérőlombikba, metanollal jelre állítjuk és homogenizáljuk. A homogenizálás után a törzsoldatból 3 ml-t 50 ml-es mérőlombikba pipetázunk és a nátrium-hidroxiddal lúgosított metanollal jelre állítjuk és homogenizáljuk.

A hígított mintát 1 cm-es kvarc küvettába pipetázunk és spektrofotométerrel különböző hullámhosszokon megmérjük az abszorbanciákat (275 nm, 325 nm és 355 nm).



15. ábra: Porított komlópellet

*Mérési eredmények értékelése:*

$$\text{alfa – savtartalom (\%)} = 0,667 * (-51,56 * A_{355\text{nm}} + 73,79 * A_{325\text{nm}} - 19,07 * A_{275\text{nm}})$$

A különböző hullámhosszon kapott abszorbancia értékeket a képletbe helyettesítve kapjuk meg a kómló alfasav tartalmát.



16. ábra: Spektrofotométer

#### **4.3.5. Színmeghatározás (EBC) spektrofotométerrel**

Az EBC színmeghatározás spektrofotométerrel 430 nm-es hullámhosszon történik, mérjük az abszorbanciát, a kapott értéket megszorozva a megfelelő faktoriall kapjuk meg a szint EBC egységben.

*Szükséges anyagok és eszközök:*

Spektrofotométer, 10 mm-es műanyag kűvetta

Desztillált víz

*Meghatározás menete:*

A mintákat szükség esetén hígítani kell desztillált vízzel, olyan mértékben, hogy a mért abszorbancia érték 0,2 és 0,8 között legyen. A mintákat szűrni szükséges mérés előtt, de ebben az esetben a teljes mintamennyiséget leszűrtük és azt használtuk a vizsgálatok során, így a mérést megelőzően külön szűrést nem kellett végezni.

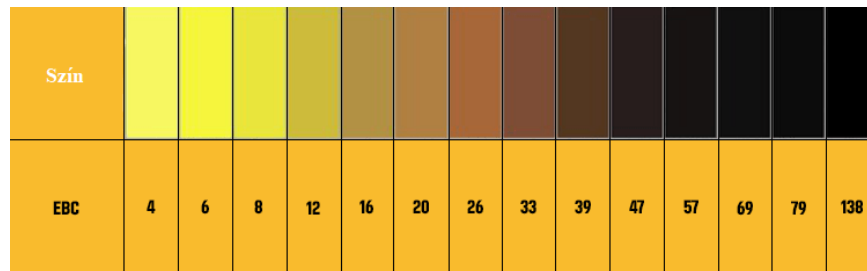
A kűvetákat megtöltjük a vizsgálandó mintákkal, egy kűvetába desztillált vizet raktunk, ez a vakminta, a spektrofotométer erre nulláz. Mérést követően leolvassuk a mért értékeket.

*Mérési eredmények értékelése:*

A szín kifejezése EBT egységben az alábbi képlet szerint történik:

$$\text{Szín (EBC)} = A_{430} * f * 25$$

Ahol f a hígítás mértéke,  $A_{430}$  a 430 nm-en mért abszorbancia értéke. Az eredményt két értékes jegyre kell megadni.



Szín	EBC
Light yellow	4
Yellow	6
Light yellow-green	8
Yellow-green	12
Light green	16
Light brown	20
Brown	26
Dark brown	33
Very dark brown	39
Blackish brown	47
Black	57
Black	69
Black	79
Black	138

17. ábra: EBC színskála

#### 4.3.6. pH mérés

A pH mérés kalibrált laboratóriumi pH mérőegységével történt. A kalibráláshoz szükséges kalibráló oldatokon kívül nem igényel egyéb anyagokat és eszközöket. A pH mérő üvegelektrodját az előzetesen leszűrt mintába helyezve, néhány másodperc múlva a készülék kijelzőjéről a pH leolvasható. Desztillált vízzel az elektródot le kell öblíteni, papírvattával szárazra törölni és az újabb minta mérése elvégezhető.

## 5. Kísérleti eredmények és értékelés

Kísérleti munkám célja leveles komló és komló pellet alfa-sav hasznosulásának vizsgálata volt pH függvényében otthoni sörfőzési körülmények között. Az így előállított mintákat a korábban ismertetett módszerekkel vizsgáltam (pH és szín mérés, extrakt tartalom, keserűérték és alfa-sav tartalom meghatározás).

### Sörlé előállítás és komlóforralás

A fejezet első részében a sörlé előállítás és komlóforralás bemutatására valamint paraméterek ismertetésére kerül sor.

Az *első főzés* 5 kg malátából és 17,5 kg vízből kezdtem, ez esetben a maláta víz arány pontosan 1:3,5. A malátát cefrésző zsákba mértem be, melyet az üres, mérlegen álló 30 literes főzőedénybe helyeztem (18. ábra) és erre mértem rá a szükséges mennyiségű vizet (hideg víz, 12-16 °C). A főzést gáztűzhelyen végeztem alacsony lángon, 3 óráig, folyamatosan mérve a hőmérsékletet. A főzést az 12. ábrán látható paramétereket alapul véve próbáltam elvégezni.

Azonban a kiindulási hőmérséklettől és a felfűtés nem programozhatósága miatt a három főzés hőmérsékletprofiljában bizonyosan van eltérés, de ez a vizsgálatot nem befolyásolja. A teljes cukrosodást szubjektív módon érzékszervi vizsgálattal (kóstolás), valamint az objektív módon (ritkább időközönként) jódkeményítő próbát is végeztem Betadine jódtartalmú sebfertőtlenítő segítségével. A cefréből pipettával keverés után néhány ml mintát vettem és egy fehér színű tányérra cseppenttem, a cefremintához ezután cseppenttem a jódot és összekeverés után a színéből következtettem a főzés állapotára. Amennyiben kékeslilas szín tapasztalható, még van jelen keményítő a rendszerben. Ez a kékes szín a keményítő-jód komplex színe. Amennyiben már nincs keményítő jelen, úgy nem tud ez a komplex kialakulni, így a keményítő pirosas színe látható, megtörtént a teljes cukrosodás, a főzést be lehet fejezni.

A főzés végén az üstöt hideg csempére helyeztem, hogy a cefrészőzsákot ki lehessen emelni és a benne lévő cefrét megfelelően kifolyatni. Ez követően mintáztam a cefrét, 125 ml-es barna műanyag palackba és fagyasztóba helyeztem.

Ez után következett a komlóforralás, ehhez 5 literes fazekat használtam fedővel. Ebben az esetben nem történt pH állítás, a kiindulási pH=5,6 volt. Az 5 literes fazékba belemértem 5,2 kg cefrét és kilónként 2 g komlópelletet, azaz 10 g-ot mértem komlóforraló zsákba. A komlóforraló zsákot a forralás kezdetén a cefrébe raktam. A komlóforralás ideje 55 perc volt.

A forralás utáni tömeg 4,5 kg. Ezt követően hűlni, ülepedni hagytam és 125 ml-es műanyag palackba mintát vettem és fagyasztóba helyeztem.

A leveles komló esetén 5,1 kg cefre került a fazékba, melyhez 11 g leveles komlót mértem be komlóforraló zsákba (19. ábra). A forralás ideje 60 perc volt. A forralás végi tömeg 4,6 kg lett. Mintázást követően a mintát fagyasztóba raktam.

A *második főzés* 5 kg malátából és 18 kg vízből történt 1:3,6-os maláta:víz aránnyal. Az első főzéshez hasonló módon a malátát cefrésző zsákba mértem és ehhez mértem hozzá a hidegvizet. A főzés ideje 3 óra 20 perc volt. A teljes keményítőkészítés vizsgálatát az első főzés esetén leírtak alapján végeztem. A kész cefre kezdeti pH-ja 5,5 volt. A második főzés esetén a cefre pH-ját NaHCO<sub>3</sub> oldattal állítottam be pH=6,7-es értékre. A hozzáadott oldat mennyiségét nem mértem. A pH állítást követően a korábbi főzés során leírtak szerint két részre osztottam a cefrét. A komlópellettel való forraláshoz 5 kg pH állított cefrét és 10 g pelletet használtam fel. A forralás ideje 54 perc, a forralást követő cefre tömege 4,5 kg volt. Ez követően a minta fagyasztóba került.

A leveles komló forraláshoz 5,2 kg cefre és 10 g komló került az edénybe. A forralás ideje 58 perc volt, a tömeg 4,6 kg lett a forralás követően. Megfigyelésként elmondható, hogy a komlóforralás során a felhasznált szódabikarbóna oldat miatt enyhe habzás volt tapasztalható és a sörlé színe ebben az esetben volt a legsötétebb.

A *harmadik főzés* a már fentiek szerint leírt módon történt. 5,1 kg malátából és 18,2 kg vízből indulva, ez 1:3,6-os maláta:víz arányt jelent. A főzés ideje 3 óra 20 perc volt. A cefrészés végén a kezdeti pH=5,7 volt. A cefre pH állítását citromsav oldattal végeztem pH=4,5-ös értékre. A bemért citromsav és oldat mennyisége nem került feljegyzésre.

Komlóforraláshoz 5 kg pH állított cefrét és 10 g pelletet használtam, a végső tömeg 4,5 kg lett, a forralás ideje 62 perc volt. A leveles komló forraláshoz 5,1 kg cefrét és 10 g komlót mértem össze. A végső tömeg 4,6 kg lett, a forralás ideje 61 perc volt. Az ismertetett paramétereket az 1. táblázat tartalmazza.

*Összefoglaló táblázatok a főzés és komlóforralás paramétereivel*

*1. táblázat: Összefoglaló táblázat*

	<b>1. főzés</b>	<b>2. főzés</b>	<b>3. főzés</b>
maláta:víz	3,5	3,6	3,6
főzés ideje	3h	3h 20	3h 20
pH	5,6	6,7	4,5



<b>1. főzés</b>	<b>Leveles komló</b>	<b>Pellet</b>
Bemért tömeg (g):	11	10
Főzés ideje:	60	55
Kezdeti tömeg (kg):	5,1	5,2
Térfogat:	<i>4,8 liter</i>	<i>4,9 liter</i>
Végső tömeg (kg):	4,6	4,5
Térfogat:	<i>4,3 liter</i>	<i>4,2 liter</i>
<b>2. főzés</b>	<b>Leveles komló</b>	<b>Pellet</b>
Bemért tömeg (g):	10	10
Főzés ideje:	58	54
Kezdeti tömeg (kg):	5,2	5
Térfogat:	<i>4,9 liter</i>	<i>4,7 liter</i>
Végső tömeg (kg):	4,6	4,5
Térfogat:	<i>4,3 liter</i>	<i>4,2 liter</i>
<b>3. főzés</b>	<b>Leveles komló</b>	<b>Pellet</b>
Bemért tömeg (g):	10	10
Főzés ideje (min)	61	62
Kezdeti tömeg (kg):	5,1	5
Térfogat:	<i>4,7 liter</i>	<i>4,7 liter</i>
Végső tömeg (kg):	4,6	4,5
Térfogat:	<i>4,3 liter</i>	<i>4,2 liter</i>

Az 1. táblázat tartalmazza a térfogatokat, melyet a később bemutatott söranalizátoros mérés során meghatározott sűrűségekből kerültek kiszámításra, a sűrűség értékek ott kerültek feltüntetésre.



18. ábra: Cefrefőzés



19. ábra: Komlóforralás

A fejezet további részében a minták jelölése sima számmal (1,2,3) és a szám után álló betűvel kerültek jelölésre (L és P), ahol *L*: leveles komló, *P*: a pelletet. A számok a főzések sorszámát jelöli., *1*: pH állítás nem történt, *2*: pH állítás lúgos tartomány felé, *3*: savanyított minta.

A fejezet további részeiben a komlóforralás hatására bekövetkező alapvető paraméterek változását mutatom be a kapott mérési eredmények alapján.

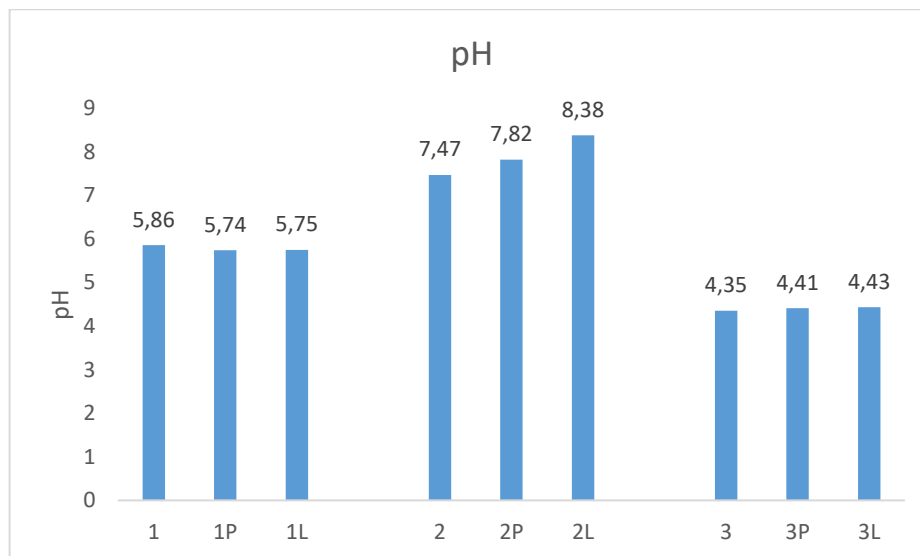
#### **Paraméterek változása a komlóforralás során**

A fejezet ezen részében a komlóforralás során bekövetkező paraméter változások eredményeinek bemutatása történik (2. táblázat).

pH változás a komlóforralás alatt:

2. táblázat: mért pH értékek

Minta	pH	Minta	pH	Minta	pH
1	5,86	2	7,47	3	4,35
1P	5,74	2P	7,82	3P	4,41
1L	5,75	2L	8,38	3L	4,43



20. ábra: pH értékek összehasonlítása

Az 1-es minták esetén nem történt pH állítás, a 2-es számú minta esetében szódabikarbónával történő pH állítás volt a lúgos tartomány felé. A 3-as minta esetében citromsavas savanyítás történt.

A komló forralás során jellemzően pH csökkenés következik be a sörlébe kerülő alfasavak és izomerizációt követően az izo-alfasavak miatt. A komlóforralás során keletkező Maillard-reakció termékek, a melanoidinek is hozzájárulnak a pH csökkenéséhez. Ez az első minta eredményeiben látható, de a kiindulási pH-hoz képest az eltérés kicsi 0,1 pH egységnyi.

A 2-es számú minták esetében a kiindulási pH-hoz képest pH növekedés történt, mely feltételezésem szerint a forralás során elbomló és nátrium-karbonáttá alakuló szódabikarbóna következménye lehet.

A 3-as jelű citromsavval savanyított sörléből származó mintákban jelentős pH változás nem történt (20. ábra).

*Szín változás a komlóforralás alatt (EBC):*

3. táblázat: mért abszorbanciák

Minta	A <sub>430</sub>	Minta	A <sub>430</sub>	Minta	A <sub>430</sub>
1	0,336	2	0,346	3	0,216
1P	0,336	2P (5x)	0,734	3P	0,298
1L	0,361	2L (5x)	0,574	3L	0,337

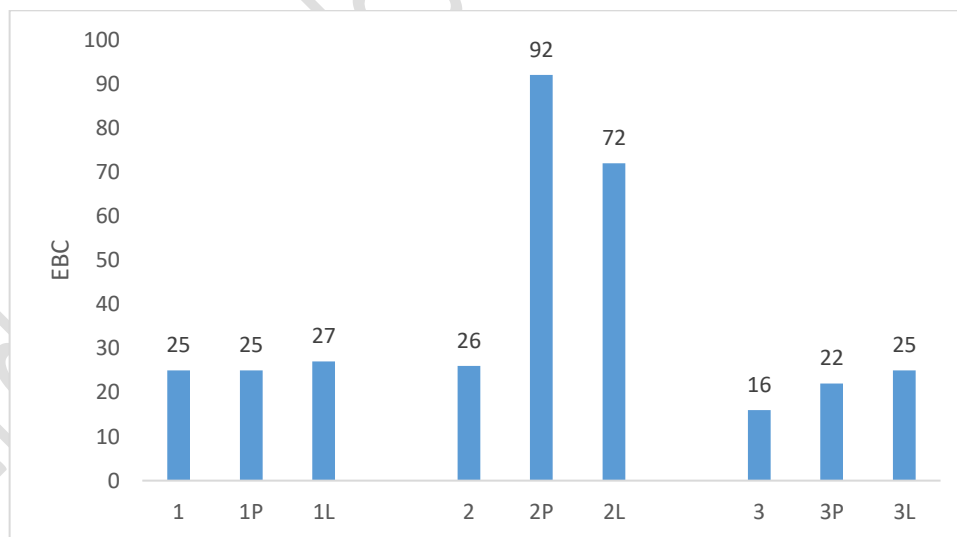
A színmérés esetén a vakminta desztillált víz volt (A<sub>430</sub>: 0,000). A minták 3x-os hígítással kerültek mérésre, hígításra desztillált vizet használtam. Két mérés esetén 5x-ös hígítást kellett alkalmazni, ezt az adott mintánál a 3. táblázatban jelöltem (2P és 2L).

EBC értékek számolása:

$EBC = A_{430} * f * 25$  képlet alapján, ahol a 3x-os hígítás esetén  $f=3$ , 5x-ös hígítás esetén  $f=5$ .

$$EBC_1 = 0,336 * 3 * 25 = 25,2$$

Eredmények a mintaszámolás alapján számoltam, a 21. ábra tartalmazza a minták színét EBC egységben:



21. ábra: Számolt EBC értékek

A legsötétebb EBC színű mintákat a lúgos pH-jú sörlé komlóforralása eredményezte, ez a sötétebb szín már a forralás során szemmel látható volt. A komlóforralások során jelentős színváltozás történt a lúgos mintáknál. Sem a pH állítás nélküli, sem a savanyított sörlé esetében nem tapasztalható ilyen mértékű színváltozás a komlóforralás során.

Elképzelhető, hogy a lúgos pH hatására bekövetkező kémiai folyamatok miatt történt. Feltételezésem szerint a Maillard-reakció ebben az esetben nagyobb mértékben játszódhatott le, a 2-es sorozatú minták pH-ja kedvez a folyamat lejátszódásának (reakció pH optimuma pH=6-10), ahol monoszacharidok szabad aminos csoportot tartalmazó vegyületekkel való reakciója során aroma anyagok és barna színű komponensek (melanoidinek) keletkeznek.

A feltételek a komlóforralás során kedvezőek voltak a reakcióhoz, azonban nem bizonyított, hogy csak önmagában ez felelős a mintasorozat két tagjának (2P és 2L) sötétebb színéért, további vizsgálatok szükségesek ennek pontos megállapítására.



22. ábra: Sörlevek színe

A 22. ábrán bal oldalt láthatóak egymás mögött a 3, 2, 1-es minták, a középső sorban a 2-es mintasorozat látható. Az jól megfigyelhető, hogy a komlóforralás előtti 2-es minta színe (EBC 26) is sötétebb minta a 3-as, de közel azonos ez 1-es számú minta színével (EBC 25). Azonban a 2L és 2P minták színe jelentősen sötétebb.

*Extrakt tartalom változás a komlóforralás alatt:*

Extrakt tartalom meghatározás Alcolyzer készülék segítségével történt, a korábban ismertetett módszer szerint:

4. táblázat: Mért extrakttartalmak

Minta	Extrakttartalom (%Plato)	Minta	Extrakttartalom p (%Plato)	Minta	Extrakttartalom p (%Plato)
1	15,08	2	16,87	3	15,33
1P	16,15 (1,067)	2P	17,22 (1,068)	3P	19,36 (1,072)
1L	16,86 (1,064)	2L	17,02 (1,069)	3L	17,95 (1,078)

A 4. táblázatban a mért extrakttartalom mellett zárójelben a sűrűség értékek találhatóak (g/cm<sup>3</sup>), ezek alapján kerültek kiszámításra a térfogatok a fejezet első részében a mért tömegek alapján.

A párolgási veszteség következtében a minták extrakt tartalma minden esetben nagyobb lett a komlóforralást követően. A 3P és 3L minták extrakt tartalma lett a legmagasabb a forralásokat követően, a kiindulási extrakthoz viszonyítva 3L esetén 2,62%-kal, 3P esetén 4,0%-kal lett magasabb, az ezt követő legmagasabb érték az 1L esetén 1,78%-os extrakt tartalom növekedés.

### Keserűanyag hasznosulás

Az utolsó részben ismertetésre kerülnek az alfasav tartalom és keserű érték meghatározás eredményei.

*Komlópellet és leveles komló alfasav tartalmának meghatározása:*

A toluolos extrakcióval nyert minták mérése spektrofotométerben történt 3 különböző hullámhosszon.

*Pellet abszorbancia értékek*

Minta (Pellet)	A <sub>275</sub>	A <sub>325</sub>	A <sub>355</sub>
1. minta	0,2892	0,3788	0,3058

Az eredmény az alábbi képlet alapján került kiszámításra:

$$\text{alfa - savtartalom (\%)} = 0,667 * (-51,56 * A_{355nm} + 73,79 * A_{325nm} - 19,07 * A_{275nm})$$

Alfa-sav tartalom: **4,5%**

A Spalter select komlópellet gyártói adat alapján 5% alfasav tartalmú, irodalmi adatok alapján 3,5-5,5% között mozog az alfa-sav tartalom. A pellet nedvességtartalma nem ismert, így azzal korrekció nem történt, a nedvesség tartalommal való korrekció miatt a tényleges alfa-sav tartalom nagyobb mint a meghatározott 4,5%.

A leveles komló alfa-sav tartalma: **4,4%**, nedvességtartalommal(10%) korrigálva 4,59 %.

*Keserűérték meghatározás:*

Keserűérték meghatározás a módszerek pontban leírtak szerint történt megfelelő előkészítést követően kerültek a minták mérésre spektrofotométerben 275 nm hullámhosszon (UV tartomány), kvarc küvetákat használva. Vak minta: izo-oktán (A: 0,000). A mérési eredményeket az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Abszorbancia értékek keserűérték meghatározáshoz

Minta:	A	Minta	A	Minta	A
<b>1</b>	<i>(0,072)</i>	<b>2</b>	<i>(0,037)</i>	<b>3</b>	<i>(0,081)</i>
<b>1P</b>	<i>1,047</i>	<b>2P</b>	<i>1,251</i>	<b>3P</b>	<i>0,441</i>
				<b>3P/2</b>	<i>0,439</i>
<b>1L</b>	<i>0,566</i>	<b>2L</b>	<i>0,416</i>	<b>3L</b>	<i>0,379</i>

Centrifugálást követően a felülúszó fázisból történt a mérés. Centrifugálást követően a 3P minta felső tiszta fázisa nem volt elegendő a mérésre, ezért ezt a mintát izo-oktánnal 3x-os térfogatra hígítottuk, majd két újabb mintát készítettünk elő a 3P sörlebből. Az újonnan készített két 3P mintából lett elegendő minta egy hígítás nélküli újramérésre. A nem elegendő mintamennyiséget az okozta, hogy egy zselés, kocsonyás fázis keletkezett, mely a 23. ábrán látható.



23. ábra: 3P minta centrifugálás után

A hígított és hígítás nélküli minták abszorbancia mérés eredményei párhuzamosak 3P minta esetén.

Keserűérték számítás:  $A * 50$  alapján  $A_{P1} = 0,072$ , **Keserű érték =  $0,072 * 50 = 3,6$**  a mintaszámolás szerinti adatokat a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: számolt keserűértékek

Minta:	Keserűérték	Minta	Keserűérték	Minta	Keserűérték
1	(3,6)	2	(1,9)	3	(4,1)
1P	52,4	2P	62,6	3P	22,1
				3P/2	22,0
1L	28,3	2L	20,8	3L	19,0

A keserűértékeket eredményéből látható, hogy a kiindulási sörlevek keserűértéke a várakozásoknak megfelelően igen alacsony, az egyes tételek (1, 2, 3) eredményei nagyságrendileg közel azonosak.

A komlóforralás előtti mintákban mért keserűérték annak következménye, hogy a módszer a polifenolokat is kimutatja, melyek megtalálhatók a malátában, így a komlózatlan sörlemben is. Szükséges megemlíteni a módszer további hátrányát is. A 275 nm-en történő meghatározás során nem csak az izo-alfa-savat, hanem az izomerizálatlan alfa-savat is méri a módszer, valamint a már említett polifenolokat és malátából származó poláris részecskéket is. (Kishimoto, 2021)

A pH állítás nélküli 1-es mintaszámú sorozatok keserűértékéből látható, hogy van különbség a pellet és a leveles komlóval készült forralások mintái között. A pellettel végzett forralás nagyobb keserűértékű sörlevet eredményezett. A különbség a leveleskomló és pellet eltérő alfa-sav tartalmából is adódhat, a leveles komló esetén 4,4%, a pellet esetén 5% volt az alfasav tartalom.

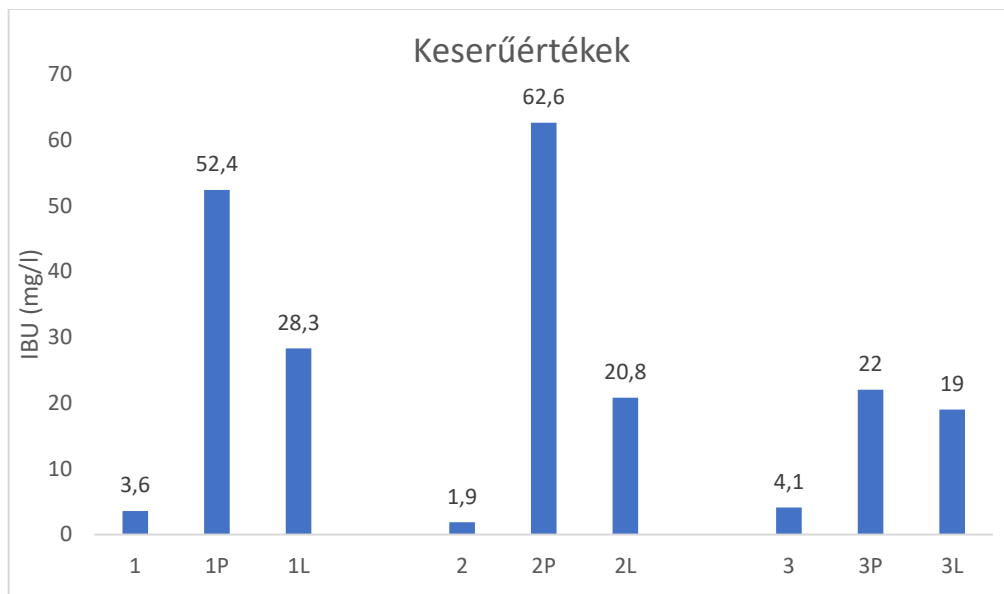
Tovább vizsgálva az eredményeket, ugyan ez a következtetés vonható le a 2-es sorozat mintáiból, itt is látható, hogy a leveles komlós forralást követően a minta keserű értéke jelentős különbséget mutat a pellettel készülthöz képest, jelentősen kisebb a leveleskomlóval készült minta keserűsav tartalma. Azonban a savanyított 3-as sorozat keserűértéke közt nincs jelentős különbség, de még ebben az esetben is látszik, hogy a pelletes minta keserűsav értéke magasabb, de közel sem olyan jelentős a különbség mint az előző két esetben.

Az eredményeket alapján látható, hogy a pellet esetében magasabb keserűértéket kaptunk a lúgosított sörle esetén, ez a szakirodalommal összhangban van, amely szerint az alfasav izomerizációt segíti a magasabb pH.

Számomra érdekes azonban, hogy (2L esetén) a leveleskomlós minta esetén a keserűérték tovább csökkent a pH állítás nélküli sörlehez (1-es) viszonyítva.



A savanyított minták esetén ez a savas tartomány már jelentősen hátrányos az alfasav izomerizációra. Összehasonlítva az 1-es és 2-es mintasorral a pellet esetén is jóval alacsonyabb keserűértéket kaptunk, a savas pH nem kedvező az izomerizáció szempontjából.



24. ábra: Keserűértékek ábrázolása

A kapott mérési eredmények alapján látható, hogy van különbség a leveleskopló és a pellet között normál sörfőzési pH-n és lúgos pH-n is. A pH növelése a pellet esetén kedvező volt, magasabb keserűértéket mértünk. Elmondható, hogy pellet esetén a sörlé csekély méretékű lúgosítása is kedvező hatással van az alfasav izomerizációra, ezáltal magasabb keserűértéket eredményezve (24. ábra).

*Hasznosulás számolás:*

A hasznosulás számolása a rendelkezésre álló adatok alapján az adott képlet szerint történt:

$$\text{Hasznosulás} = \frac{\text{izoalfasav mennyisége a koplóforralás után sörlében}}{\text{Teljes hozzáadott alfasav}} \times 100$$

A bemért kopló tömegét beszorozva az alfa-sav tartalommal ( $m_{\text{kopló}} \cdot \text{alfasav-tartalom} \% / 100$ ), kiszámítható a teljes hozzáadott alfa-sav mennyisége (grammban) (7. táblázat). Ezt követően a forralás utáni sörlé térfogat és keserű érték ismeretében meghatározható az izo-alfasav mennyisége. A keserűérték mg/liter, így a koplóforralás utáni térfogattal ezt megszorozva kapjuk a teljes izo-alfasav mennyiségét. Az izo-alfasav

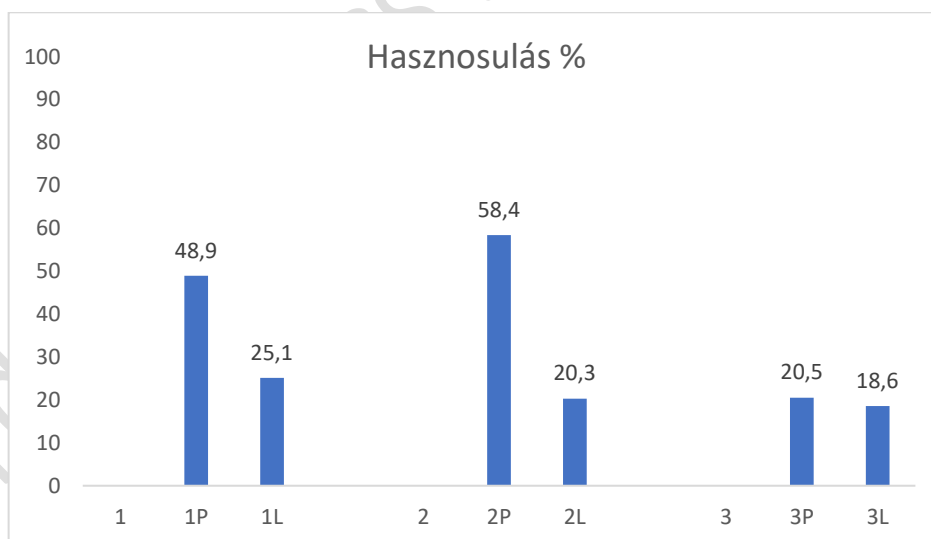
mennyiség és a kiindulási mennyiség ismeretében a fenti képlet szerint a hasznosulás számolható (8. táblázat).

7. táblázat: Bemért teljes alfa-sav

	<b>m<sub>k</sub>omló /g</b>	<b>m<sub>b</sub>emért alfa-sav /g</b>
<b>1L</b>	11	0,48
<b>1P</b>	10	0,45
<b>2L</b>	10	0,44
<b>2P</b>	10	0,45
<b>3L</b>	10	0,44
<b>3P</b>	10	0,45

8. táblázat: Alfasav hasznosulás számolás

	<b>V<sub>után</sub> (L)</b>	<b>m<sub>K</sub>eserűérték (mg/L)</b>	<b>m<sub>izo</sub>-alfasav (g)</b>	<b>hasznosulás %</b>
<b>1L</b>	4,3	28,3	0,1217	25,1
<b>1P</b>	4,2	52,4	0,2201	48,9
<b>2L</b>	4,3	20,8	0,0894	20,3
<b>2P</b>	4,2	62,6	0,2629	58,4
<b>3L</b>	4,3	19	0,0817	18,6
<b>3P</b>	4,2	22	0,0924	20,5



25. ábra: Hasznosulás

A 25. ábra jól szemlélteti, hogy a pellet esetén a hasznosulás jelentősen nagyobb a pH állítás nélküli és pH növelt forralások során. A csökkentett pH-jú sörle esetén nincs jelentős különbség. Összegzésként elmondható, hogy a pH csökkentése a hasznosulásnak nem kedvez, azonban a pH növelése pozitív befolyással van a hasznosulásra.

## 6. Összefoglalás

Összefoglalásként elmondható, hogy a célkitűzésnek megfelelően sikeresen végeztem el a leveleskomló és komlópellet alfasav hasznosulásának vizsgálatát különböző pH értékeken.

Három otthoni sörlé főzést valósítottam meg Spalter select leveleskomló és pellet felhasználásával, ezekből 9 db minta állt elő. A mintákat különböző vizsgálatoknak vetettem alá:

- Keserűérték meghatározás (izo-alfasav tartalom)
- Extrakt tartalom mérés
- Komlópellet alfasav tartalom meghatározás
- Szín (EBC) meghatározás
- pH mérés

Az 5. pontban részletezett mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az alfasav hasznosulásra hatással van a komlóforma is, leveles komló esetén kisebb az alfasav hasznosulás, mint pellet forma esetén. Ennek oka az lehet, hogy a Typ 90-es pellet koncentráltabb mint a leveles komló. A dolgozat 3. fejezetében említést teszek róla hogy a Typ 90-es pellet előállítása során csak fizikai változáson megy keresztül a komló, így összetételében hasonló a leveles komlóhoz, de nem azonos.

Továbbá megállapítható, hogy a pH-jelentős hatással van az alfasav-hasznosulásra. Az eredeti pH állítás nélküli sörléhez (pH =5,5) viszonyítva már a pH egy egységnyi változtatása is jelentős hatással bír. A savas pH nem kedvező az alfasav-hasznosulás szempontjából, azonban a lúgos pH jelentősen növelte azt. Ez az eredmény megerősíti a szakirodalomban olvasható információkat. Azt azonban fontos hangsúlyozni, hogy a söriparban nem növelik a sörlé pH-ját. Annak ellenére, hogy ezzel növekszik az alfasav-hasznosulás az nem kellemes keserűséget eredményez. (Kunze, 2004)

## 7. Irodalmi hivatkozások

Biacs P., Szabó G., Szendrő P., Véha A., 2013, *Élelmiszer-technológia mérnököknek*, ISBN 978-963-306-017-9

Ian S. Hornsey, 2003, *A history of beer and brewing*, ISBN 0-85404-630-5

C.W. Bamfort, 2016, *Brewing Materials and Processes*, ISBN 978-0-12-799954-8

J. Urban, C. J. Dahlberg, B. J. Carroll, and W. Kaminsky, Absolute Configuration of Beer's Bitter Compounds, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013, 52, 1553–1555

B. Jaskula, P. Kafarski, G. Aerts, L. De Cooman, Kinetic Study on the Isomerization of Hop  $\alpha$ -Acids, *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 6408–6415

Aitken, R. A.; Bruce, A.; Harris, J. O.; Seaton, J. C. Reversibility of Humulone-Isohumulone Transformation. *J.Inst. Brew.* 1969, 75, 180–181.

N. Bastgen, T. Becher, S. Drusch, J. Titze, Usability and Technological Opportunities for a Higher Isomerization Rate of  $\alpha$ -Acids, *J. Am.Society of Brewing Chemists*, 2021, 79, 17-25

M. L. Hall, What is your IBU? 1996, *Zymurgy Special*

T. Rocha dos Santos Mathias, L. Moreira Menezes, E. Flávia Camporese Sérvulo, Effect of Maize as Adjunct and the Mashing Proteolytic Step on the Brewer Wort Composition, *Beverages* 2019, 5, 65

Gomaa AM. Application of Enzymes in Brewing. *J Nutri Food Sci Forecast.* 2018; 1(1): 1002

T. Kishimoto, S. Teramoto, A. Fujita, O. Yamada, Evaluation of Components Contributing to the International Bitterness Unit of Wort and Beer *J. Am.Society of Brewing Chemists*, 2021

Kunze, W. (2004). *Technology Brewing and Malting. Vlb, Berlin, 18-152.*

Internet 1: <https://cairoscene.com/artsandculture/the-history-of-beer-in-ancient-egypt>

Internet 2: <https://www.germanfoodguide.com/beer-rawmaterials.cfm>

Internet 3: <https://www.ukmalt.com/uk-malting-industry/how-malt-is-made/old-new-prouduction-methods/>

Internet 4: <https://vendomecopper.com/products/brewing/>

Internet 5: <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/beer-brewing-process-brewery-factory-production-vector-20538943>

Internet 6: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hops>

Internet 7: [vikingmalt.com](http://vikingmalt.com)

Internet 8:

<https://www.castlemalting.com/CastleMaltingHops.asp?P=105&Language=English>

## 8. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Kun-Farkas Gabriella tanárnőnek, hogy lehetővé tette diplomadolgozatom elkészítését, és segítségemre volt a laboratóriumi mérések során. Köszönet illeti szaktársamat Csengét, aki rendszeresen ellátott jegyzetekkel, így lehetővé téve, hogy eljussak a diplomamunka megírásához. Köszönet illeti még családomat, barátaimat és munkahelyemet.



## 9. Nyilatkozatok

### Szerzői nyilatkozat

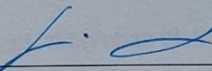
Alulírott Erdei Szabolcs

Élelmiszermérnök mesterképzés MSc (levelező) szak,

kijelentem, hogy a *Komlópellet és leveles komló alfasav hasznosulása a pH függvényében* című diplomamunka a saját munkám eredménye. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

Budapest, 2023. május 09.



a hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

### **a szakdolgozat, diplomamunka nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről**

A szerző neve: Erdei Szabolcs

A dolgozat címe: Komlópellet és leveles komló alfasav hasznosulása a pH függvényében

A megjelenés éve: 2023

A tanszék neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomamunka egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom.

**A leadott dolgozat, mely védett, a szerző nevének vízjelével ellátott pdf dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.**

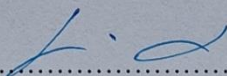
Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a SZIE Budai Campus Igazgatóság Entz Ferenc Könyvtár és Levéltár szakdolgozat archívumába.

A dolgozat bibliográfiai leírása az Entz Ferenc Könyvtár és Levéltár elektronikus katalógusából érhető el: <http://opac.szie.hu/entzferenc/>. A teljes szöveg kizárólag a Budai Campus számítógépeiről tekinthető meg.

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

A Nyilatkozat a dolgozat adatainak megadásával érvényes, melyet az elektronikus hordozóval együtt leadok.

Budapest, 2023.május. 09.



.....

a szerző aláírása


## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

**Erdei Szabolcs** (Neptun azonosítója: **DW3UQ4**) 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 védelemre javaslom.

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

Kelt: Budapest, 2023. május 2.

  
Belső konzulens