

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko – technologická

Barevnost piva v systému CIE

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vasyl Želizňak**  
Osobní číslo: **C19133**  
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Barevnost piva v systému CIE**  
Téma práce anglicky: **The beer colour in CIE system**  
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

1. Klasifikujte pivo podle platné legislativy. S využitím databází vědeckých periodik a odborných knih zpracujte stručný přehled o výrobě piva s důrazem na ležáky. Charakterizujte výsledné složení piva. Vypracujte teoretickou kapitolu o měření barevnosti potravin, její instrumentaci. Zdůrazněte vyjádření barevnosti v systému CIE a EBC. Uveďte souvislosti barvy piva a jeho složení.

2. Experimentálně zjistěte barevnost piva v systému EBC a CIE s využitím kyvet s různou optickou dráhou.

3. Výsledky zpracujte a kriticky zhodnoťte.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2022**

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc. v.r.**  
děkan

L.S.

**prof. Ing. Karel Ventura, CSc. v.r.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2022

Prohlašuji:

Práci s názvem Barevnost piva v systému CIE jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne:

.....  
Vasyl Želizňak

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří panu doc. Ing. Liboru Červenkovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za vedení mé práce, jeho cenné rady a odborný dohled. Děkuji také Mgr. Ivě Kronusové za pomoc při gramatické kontrole práce. Dále chci poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost během celého mého studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce je zaměřena na barevnosti piva. Jsou v ní popsány suroviny pro výrobu piva a samotná technologie výroby piva. Poté je popsáno měření barevnosti potravin a zdůrazněno vyjádření barevnosti v systému CIEL\*a\*b\*. Pro světlá piva typu ležák bylo zjištěno, že hodnoty CIEL\*a\*b\* korelují s mezinárodními jednotkami pro barevnost piva EBC, a to jak při měření barevnosti v kyvetě s optickou dráhou 10 mm, tak při měření v kyvetě s optickou dráhou 50 mm imitující sklenici.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Pivo, technologie, barva, měření barevnosti, senzorická analýza

## **TITLE**

The beer colour in CIE system

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is focused on the colour of beer. It describes the raw materials for beer production and the technology of beer production itself. Then the measurement of food colour is described and the expression of colour in the CIEL \* a \* b \* system is emphasized. For light lagers, the CIEL \* a \* b \* values were found to correlate with the international units EBC for beer coloration, both when measuring colour in a cuvette with an optical path of 10 mm and when measuring in a cuvette imitating glass with an optical path of 50 mm.

## **KEYWORDS**

Beer, technology, colour, colour measurement, sensory analysis

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM GRAFŮ .....	10
SEZNAM ROVNIC.....	11
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	12
TERMINOLOGIE .....	12
ÚVOD.....	13
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	14
1.1 PIVO DLE PLATNÉ LEGISLATIVY .....	14
1.1.1 Dělení piva do skupin podle barvy .....	14
1.1.2 Dělení piva do jednotlivých podskupin .....	14
1.1.3 Označování piva podle vyhlášky 248/2018 Sb. § 18.....	15
1.1.4 Požadavky na jakost.....	15
1.1.5 Požadavky na uvedení piva na trh podle vyhlášky 248/2018 Sb. § 20.....	15
1.2 ZÁKLADNÍ SUROVINY PRO VÝROBU PIVA .....	16
1.2.1 Slad .....	16
1.2.2 Chmel.....	23
1.2.3 Pivovarské kvasinky .....	25
1.2.4 Voda.....	25
1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY PIVA .....	27
1.3.1 Výroba mladiny .....	27
1.3.2 Hlavní kvašení mladiny .....	33
1.3.3 Dokvašení mladého piva a zrání (ležení) piva.....	34
1.3.4 Závěrečná úprava piva .....	34
1.4 VÝSLEDNÉ SLOŽENÍ PIVA .....	36
1.4.1 Voda.....	36
1.4.2 Oxid uhličitý .....	36
1.4.3 Polyfenoly .....	36
1.4.4 Sacharidy .....	37
1.4.5 Bílkoviny .....	37
1.4.6 Vitamíny .....	38

1.4.7 Organické kyseliny .....	38
1.4.8 Vlákna .....	38
1.4.9 Hořké chmelové látky .....	38
1.5 MĚŘENÍ BAREVNOSTI POTRAVIN .....	39
1.5.1 Základy teorie barev .....	39
1.5.2 Kolorimetrie .....	40
1.6 MEZINÁRODNÍ KOMISE PRO OSVĚTLENÍ (CIE) .....	42
1.6.1 Standardní zdroje světla .....	42
1.6.2 Standardní podmínky osvětlení a pozorování .....	43
1.6.3 Standardní pozorovatel .....	43
1.7 RGB (Red, Green, Blue) BAREVNÝ PROSTOR .....	44
1.8 CIE XYZ BAREVNÝ PROSTOR .....	45
1.8.1 xyY chromatický diagram CIE .....	46
1.9 CIE L*a*b* BAREVNÝ PROSTOR .....	47
1.10 BAREVNOST V JEDNOTKÁCH EBC .....	49
1.11 SOUVISLOST BARVY PIVA A JEHO SLOŽENÍ .....	50
2 CÍL PRÁCE .....	51
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	51
3.1 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ A POMŮCKY .....	51
3.2 POUŽITÉ VZORKY PIV .....	51
3.3 PŘÍPRAVA VZORKU A MĚŘENÍ .....	53
3.3.1 Naměřená data pro 10mm kyvetu .....	54
3.3.2 Naměřená data pro 50mm kyvetu .....	56
4 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ .....	58
4.1 Závislost hodnot L*, a*, b*, C* a h° na hodnotě EBC .....	58
4.2 Závislost transmittance na vlnové délce .....	65
5 ZÁVĚR .....	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	68
PŘÍLOHY .....	73



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Slad plzeňského typu.....	16
Obrázek 2: Slad mnichovského typu .....	16
Obrázek 3: Karamelový slad.....	17
Obrázek 4: Čokoládový slad.....	17
Obrázek 5: Ječná obilka – řez .....	17
Obrázek 6: Schéma strmé nádrže s konickým dnem (náduvník).....	19
Obrázek 7: Fáze klíčení zrna v závislosti na době klíčení .....	20
Obrázek 8: Rostlinka chmelu otáčivého .....	23
Obrázek 9: Chmelové pelety (odrůda Žatecký poloraný červenák) .....	24
Obrázek 10: Kvasinky <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pod mikroskopem.....	25
Obrázek 11: Schéma šestiválcového mlýnu s vibračním sítím .....	27
Obrázek 12: Schéma izomerace $\alpha$ - hořkých kyselin na iso- $\alpha$ - hořké kyseliny .....	31
Obrázek 13: Schéma deskového chladiče.....	32
Obrázek 14: Cyindro-kónické tanky.....	33
Obrázek 15: Kvercetin .....	36
Obrázek 16: Katechin .....	37
Obrázek 17: Izomerace xanthohumolu na isoxanthohumol při chmelovaru .....	37
Obrázek 18: Barevné spektrum.....	39
Obrázek 19: Schéma kolorimetru (vlevo) a schéma reflexního spektrofotometru s polychromatickým osvitem (vpravo) .....	41
Obrázek 20: Absorpční fotometr SIGRIST ColourPlus 2 in-line.....	41
Obrázek 21: Stolní spektrofotometr CM-5 od firmy Konica Minolta Sensing INC .....	42
Obrázek 22: Barva světla (teplota chromatičnosti [53] .....	42
Obrázek 23: Geometrický systém 45/0 (vlevo) a geometrický systém d/8 (vpravo) .....	43
Obrázek 24: Trojrozměrný kolorimetrický prostor [56].....	45
Obrázek 25: 2D diagram znázorňující rozsah barev při poloviční světelnosti ( $L^* = 50\%$ ) ....	48
Obrázek 26: Vzorky piv seřazené od nejsvětlejších po nejtmaší.....	49
Obrázek 27: Spektrofotometr UltraScan VIS .....	51
Obrázek 28: Ultrazvukové lázně Bandelin SONOREX .....	51
Obrázek 29: Vzorky po odplynění v ultrazvukové lázni .....	53

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost teploty na čase třířmutového dekokčního postupu .....	29
Graf 2: Závislost teploty na čase infuzního řmutování .....	29
Graf 3: Závislost intenzity trichromatických činitelů $x, y, z$ na vlnové délce (pro $2^\circ$ pozorovatele – plné čáry; pro $10^\circ$ pozorovatele – čárkované čáry) .....	44
Graf 4: Závislost trichromatických činitelů $r, g, b$ na vlnové délce .....	45
Graf 5: Chromatický diagram CIE 1931 .....	47
Graf 6: Záznam LAB modelu .....	48
Graf 7: Závislost $L^*$ na EBC pro 10mm kyvetu .....	59
Graf 8: Závislosti $a^*$ na EBC pro 10mm kyvetu .....	59
Graf 9: Závislosti $b^*$ na EBC pro 10mm kyvetu .....	60
Graf 10: Závislost $C^*$ na EBC pro 10mm kyvetu .....	60
Graf 11: Závislost $h^\circ$ na EBC pro 10mm kyvetu .....	61
Graf 12: Závislosti $L^*$ na EBC pro 50mm kyvetu .....	62
Graf 13: Závislosti $a^*$ na EBC pro 50mm kyvetu .....	62
Graf 14: Závislosti $b^*$ na EBC pro 50mm kyvetu .....	63
Graf 15: Závislosti $C^*$ na EBC pro 50mm kyvetu .....	63
Graf 16: Závislosti $h^\circ$ na EBC pro 50mm kyvetu .....	64
Graf 17: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 1 .....	65
Graf 18: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 11 .....	65
Graf 19: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 23 .....	66
Graf 20: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 24 .....	66

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Dýchání ječného zrna .....	18
Rovnice 2: Kvašení ječného zrna.....	18
Rovnice 3: Kvašení glukózy .....	25
Rovnice 4: Dekarbonizace $Ca(HCO_3)_2$ varem .....	26
Rovnice 5: Dekarbonizace $Mg(HCO_3)_2$ varem .....	26
Rovnice 6: Dekarbonizace $Ca(HCO_3)_2$ vápennou vodou.....	26
Rovnice 7: Dekarbonizace $Mg(HCO_3)_2$ vápennou vodou.....	26
Rovnice 8: Výpočet reflektance.....	40
Rovnice 9: Výpočet transmitance .....	40
Rovnice 10: Výpočet transmitance podle Augusta Beera .....	40
Rovnice 11: Výpočet absorbance (Lambertův-Beerův zákon).....	40
Rovnice 12: Výpočet trichromatické hodnoty X .....	46
Rovnice 13: Výpočet trichromatické hodnoty Y .....	46
Rovnice 14: Výpočet trichromatické hodnoty Z.....	46
Rovnice 15: Výpočet normalizačního faktoru k .....	46
Rovnice 16: Výpočet chromatické souřadnice barvy (x).....	46
Rovnice 17: Výpočet chromatické souřadnice barvy (y).....	46
Rovnice 18: Výpočet Euklidovského rozdílu .....	47
Rovnice 19: Výpočet hodnoty EBC.....	49

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Základní informace o vzorkách .....	52
Tabulka 2: Naměřené hodnoty $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ a EBC pro 10mm kyvetu .....	55
Tabulka 3: Naměřené hodnoty $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ a EBC pro 50mm kyvetu .....	57
Tabulka 4: Hodnoty korelačních faktorů a významnost korelace pro 10mm kyvetu.....	58
Tabulka 5: Hodnoty korelačních faktorů a významnost korelace pro 50mm kyvetu.....	58

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

EPM	extrakt původní mladiny
CKT	cylindro-kónický tank
CIE	mezinárodní komise pro osvětlování (Commission Internationale de l'Eclairage)
RGB	trichromatický mechanismus (red, green, blue)
$\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$	trichromatické činitelé RGB systému
CIEXYZ	kolorimetrická soustava tristimulárních složek X, Y, Z
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	trichromatické činitelé CIEXYZ systému
xyY	CIE kolorimetrická soustava Y
CIEL*a*b*	kolorimetrická soustava
L*	jas (světlost)
a*, b*	barevné osy v systému CIEL*a*b*
C*	sytost (Saturation)
h°	odstín (Hue)
$\Delta E^*$	euklidovský rozdíl (barevný rozdíl v soustavě CIELAB)
EBC	European Brewery Convention
A <sub>430</sub>	absorbance při vlnové délce 430 nm
f <sub>z</sub>	faktor zředění
VIS	viditelné záření
p-hodnota	míra významnosti korelace (pokud je < 0,05, korelace je významná a naopak)

## TERMINOLOGIE

**Extrakt původní mladiny (EMP)**, uvedený ve vyhlášce o požadavcích na pivo, je údaj o množství látek ze sladu a chmele, které se při vaření piva dostanou do mladiny a odpovídá stupňovitosti piva. Desetistupňové pivo je podle platné legislativy pivo s EPM 10. To znamená, že je pivo vyrobené kvašením mladiny, která obsahovala v jednom litru přibližně 100 g zkvasitelného extraktu a 900 h vody [1, 2].

**Korelace** je mírou lineárního vzrůstu. Korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1. Pokud se blíží nule, nejedná se o lineární závislost. Pokud je hodnota korelačního koeficientu záporná, jedná se o lineárně klesající závislost. Pokud je hodnota kladná, jedná se o lineárně rostoucí závislost [3].

## ÚVOD

Pivo (latinsky bibere) je slabě alkoholický nápoj, který se připravuje z obilných sladů, syrového chmelu, popřípadě jiných chmelových produktů, varné vody a kvasnic svrchního nebo spodního kvašení. Slad je za speciálních podmínek naklíčená a usušená obilovina. Jedná se o velmi oblíbený výrobek na trhu. Česká republika již několikátým rokem obhájila 1. místo na světě v průměrné roční spotřebě piva přepočtené na obyvatele.

Barva piva patří mezi důležitý faktor při výběru finálního výrobku. Může ovlivnit, kterých produktů si spotřebitel všimne a které si nakonec rozhodne koupit. Samotná barva piva pochází ze surovin nebo se vytváří během výrobního procesu. V současné době se barva piva nejčastěji hodnotí podle hodnoty absorbance při vlnové délce 430 nm. Ta se měří v kyvetě o tloušťce 10 mm proti destilované vodě a hodnota barvy se udává v j EBC. K určování barvy potravin se v praxi více využítí trojrozměrného barevného prostoru CIEL\*a\*b\*.

Barevnost jednotlivých vzorků byla proměřena jak v 10mm kyvetě, tak v 50mm kyvetě, která více odpovídá tloušťce optické vrstvy běžné sklenice. Naměřené hodnoty ze systému CIEL\*a\*b\* byly srovnány s jednotkami EBC a jejich závislosti byly vyhodnoceny graficky a pomocí korelačních koeficientů.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 PIVO DLE PLATNÉ LEGISLATIVY

Podle vyhlášky 248/2018 Sb., o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí § 16 je pivo definováno jako pěnivý nápoj vyrobený zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele, upraveného chmele nebo chmelových výrobků, který vedle kvasným procesem vzniklého etanolu a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu [4].

Spodně kvašeným pivem se rozumí pivo vyrobené za použití pivovarských kvasinek spodního kvašení. Svrchně kvašeným pivem se rozumí pivo vyrobené za použití pivovarských kvasinek svrchního kvašení [4, 5].

### 1.1.1 Dělení piva do skupin podle barvy

- Světlé pivo – vyrobené převážně ze světlých sladů [4, 5].
- Tmavé a polotmavé pivo – vyrobené z tmavých sladů, sladů karamelových, případně barevných sladů ve směsi se světlými slady [4, 5].
- Řezané pivo – vyrobené při stáčení smísením světlých a tmavých piv [4, 5].

### 1.1.2 Dělení piva do jednotlivých podskupin

- Stolní piva – extrakt původní mladiny do 6 % hmotnostních včetně [4, 5].
- Výčepní piva – extrakt původní mladiny 7 až 10 % hmotnostních [4, 5].
- Ležák – spodně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmotnostních [4, 5].
- Plné pivo – svrchně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmotnostních [4].
- Silné pivo – extrakt původní mladiny 13 % hmotnostních a vyšší [4, 5].
- Nízkoalkoholické pivo – obsah alkoholu více než 0,5 % objemových a nejvýše 1,2 % [4, 5].
- Nealkoholické pivo – obsah alkoholu nejvýše 0,5 % objemových [4, 5].
- Pivo se sníženým obsahem cukru – obsah zatěžujících sacharidů do 0,75 g/100 ml [4, 5].
- Pivo z jiných obilovin – vyrobené s podílem extraktu z použitého sladu jiné obiloviny než ječmene vyšším než jedna třetina hmotnosti extraktu [4, 5].
- Kvasnicové pivo – vyrobené dodatečným přídatkem čisté kvasničné kultury, nebo podílu rozkvašené mladiny do hotového piva [4, 5].
- Ochucená piva – s přídatkem látek určených k aromatizaci, potravních doplňků, lihovin nebo jiných alkoholických nápojů [4, 5].

### **1.1.3 Označování piva podle vyhlášky 248/2018 Sb. § 18**

Kromě údajů uvedených v nařízení o poskytování informací spotřebitelům, v zákoně a ve vyhlášce o některých způsobech označování potravin se u piva dále uvede:

- a) Název druhu a skupiny (název skupiny lze upřesnit uvedením hodnoty extraktu původní mladiny vyjádřené číselným údajem v hmotnostních procentech) [5, 6].
- b) Obsah alkoholu, jde-li o pivo nízkoalkoholické [5, 6].
- c) V názvu způsob kvašení, jde-li o pivo vyrobené svrchním kvašením, nebo kvašením v lahvi [5, 6].
- d) V názvu údaj „nefiltrované“, pokud nebyly z piva odstraněny kvasnice [5, 6].
- e) V názvu údaj o barvě, pokud jde o pivo tmavé, polotmavé nebo řezané [5, 6].
- f) V názvu údaj „kvasnicové“, pokud jde o pivo kvasnicové [5, 6].
- g) V názvu údaj „ochucené“, pokud bylo pivo ochuceno [5, 6].
- h) V názvu údaj o druhu obiloviny, pokud bylo pivo vyrobeno z jiných obilovin [5, 6].
- i) Údaj o použití přírodní minerální vody, pokud byla k výrobě použita [5, 6].

### **1.1.4 Požadavky na jakost**

V české legislativě je jakost piva stanovena pomocí několika ukazatelů, z nichž nejdůležitější pro spotřebitele jsou obsah alkoholu a extrakt původní mladiny [1].

Chuť, vůně a ostatní smyslové požadavky na pivo a nápoje na bázi piva musí být charakteristické pro deklarovaný druh a skupinu výrobků a musí být bez cizích vůní a chutí. Pro spotřebitele je velmi důležitá zejména hořkost piva. Ta závisí na jakosti chmele. Ušlechtilé chmele dodávají pivu příjemnou hořkost a jemnější chuť než chmely hrubé a poškozené nevhodným skladováním [1, 6].

Tmavá a polotmavá piva nelze vyrábět přibarvováním světlých piv [6].

### **1.1.5 Požadavky na uvedení piva na trh podle vyhlášky 248/2018 Sb. § 20**

Pivo a nápoje na bázi piva musí být chráněny před přímým slunečním světlem a před mrazem [6].

## 1.2 ZÁKLADNÍ SUROVINY PRO VÝROBU PIVA

### 1.2.1 Slad

Sladování je v podstatě stejný proces, ke kterému dochází, když semena spadnou na zem nebo jsou zasazena, navlhčena vodou a klíčí [7].

Slad pro výrobu piva se vyrábí procesem sladování hlavně z ječmene. Sladovat lze i pšenici, kukuřici, žito a oves. Typické odrůdy pro výrobu sladu v České republice jsou odrůdy jarního dvouřadého ječmene, např. Rubín, Jubilant, Forum a další. Hlavní pěstitelskou oblastí jsou úrodné nížiny, převážně oblast Haná [2, 8, 9].

Z technologického hlediska výroby piva i jeho kvality je důležité používat partie sladu připravené z jedné odrůdy, maximálně ze dvou odrůd, ale geneticky podobných [10].

Slad je ingrediencí, která určuje především barvu a chuť piva. Množství použitého sladu má na svědomí stupňovitost piva, potažmo obsah alkoholu. Světlé slady plzeňského typu (obr.1) se vyrábějí převážně pro světlá piva typu ležák a tmavé slady mnichovského typu (obr. 2) pro piva polotmavá a tmavá. Další typy speciálních sladů (karamelové slady (obr. 3), čokoládové slady (obr. 4), barvicí slady, nakuřované slady a proteolytické slady) slouží ke zvýraznění určitých kvalitativních a specifických vlastností základních typů světlých a tmavých piv, jako je barva, potažmo chuť [2, 9, 10, 11].

Na 1 hl piva se spotřebuje 15 až 20 kg sladu [10].



Obrázek 1: Slad plzeňského typu [12]



Obrázek 2: Slad mnichovského typu [12]





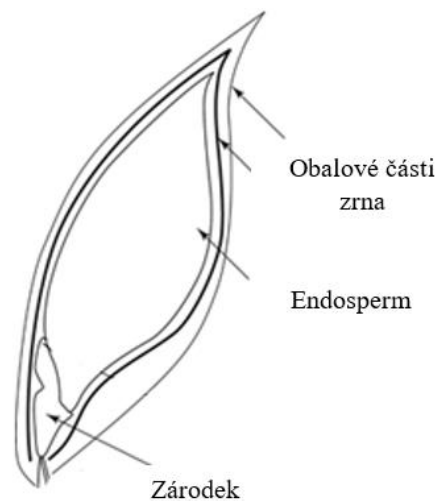
Obrázek 3: Karamelový slad [12]



Obrázek 4: Čokoládový slad [12]

### Anatomie a chemické složení ječného zrna (obilky)

Z morfologického hlediska se obilka skládá z obalových částí tzv. pluch a vnitřních částí, kde pro pivovarství je nejdůležitější endosperm. Ten zaujímá největší část obilky a je tvořen z převážné části škrobem. Mezi vnitřní části obilky patří i zárodek (klíček), z něhož při klíčení vycházejí podněty k aktivaci enzymů v celém zrně. Jednotlivé části obilky jsou znázorněné na obr. 5 [9, 13].



Obrázek 5: Ječná obilka – řez [13]

Z hlediska chemického se obilka skládá z 65 až 68 % škrobu. Škrob je makromolekulární látka skládající se z polysacharidů amylozy (22 až 26 %) a amylopektinu (74 až 78 %). Základními disacharidy, které tvoří tyto polysacharidy, jsou maltóza a isomaltóza. Oba se skládají ze dvou jednotek D-glukózy. Maltóza je označována jako základní pivovarský cukr [9, 14, 15].

Ječné zrnko obsahuje také 4 až 10 % neškrobových polysacharidů jako je celulóza, hemicelulóza a lignin. Dále zrnko obsahuje 10 až 17 % bílkovin, 2 až 3 % volných lipidů a 1,5 až 2,5 % minerálních látek [9, 14, 15].

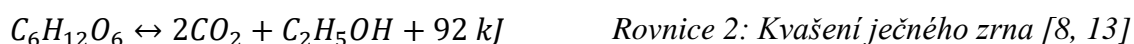
### **Technologie sladování**

Do technologie sladování řadíme příjem, čištění, třídění a skladování ječmene. Dále pak máčení ječmene, klíčení ječmene, hvozďení zeleného sladu, odklíčení, leštění, balení a expedici hotového sladu.

#### **– Příjem, čištění, třídění a skladování ječmene**

Ječmen se přijímá pomocí přijímací rampy z vagonů, aut, cisteren a v místech lodní přepravy i z lodí. Ječmen se očistí od prachu, nečistot a přímísenin a poté se roztrídí podle velikosti a kvalitativních znaků (odrůda a jakost). K základnímu vybavení čistící a třídící stanice patří dopravní zařízení, automatická registrační váha, aspirátor, triér, třídíče, magnet, odklasňovač, předčišťovací triér, dále pak jímače prachu jako jsou cyklony a proudové filtry [13, 16].

Uskladněný ječmen je nutné čas od času přemístit, aby došlo k jeho provzdušnění. Vlhkost ječmene při skladování musí být přibližně 12 až 13 % a místo skladování musí být suché a chladné. energii potřebnou pro životní procesy získává zrnko odbouráváním rezervních polysacharidů, hlavně škrobu. V závislosti na vnějších podmínkách získává zrnko energii buď aerobním dýcháním v přítomnosti kyslíku podle rovnice 1, nebo anaerobním kvašením v nepřítomnosti kyslíku podle rovnice 2 [8, 13].

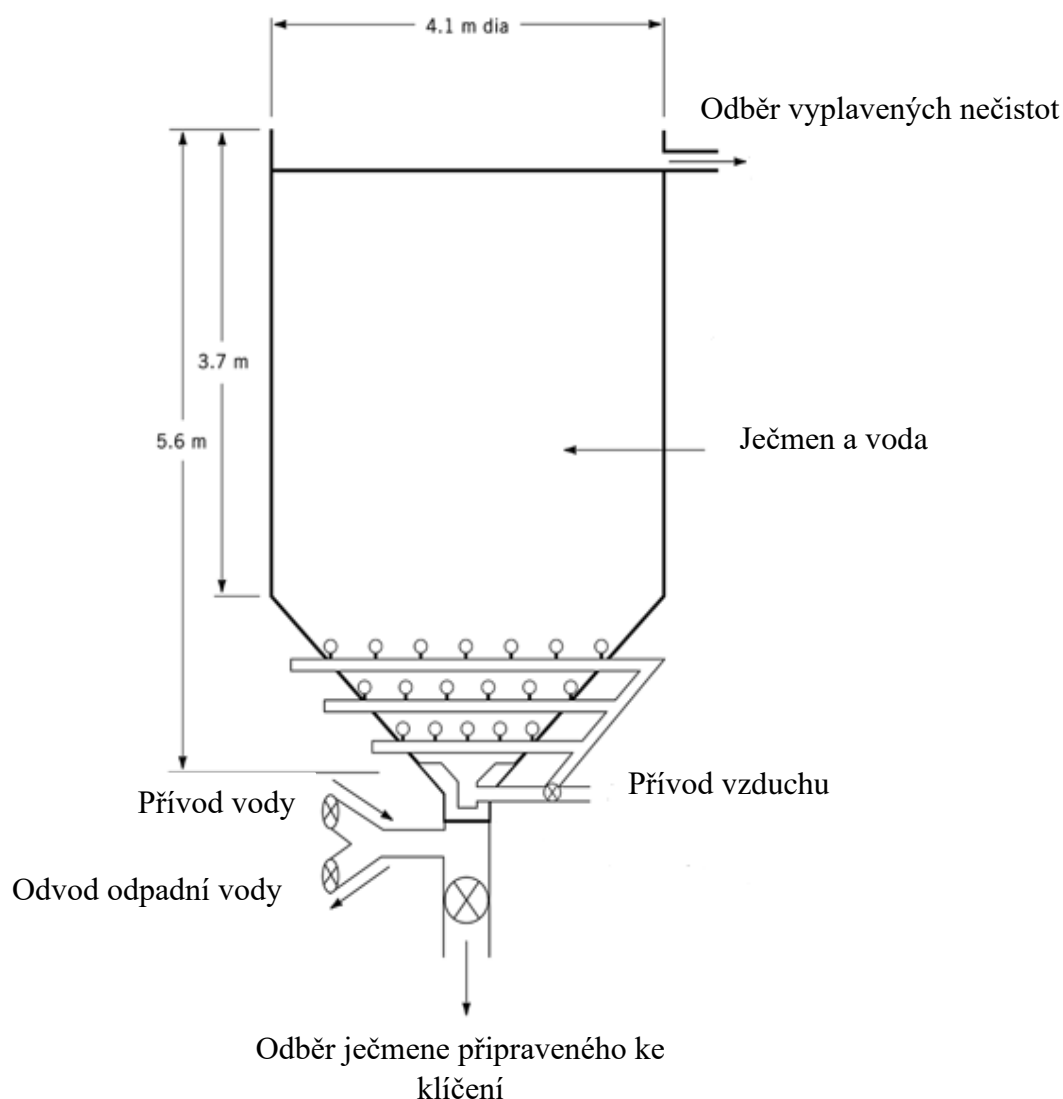


## – Máčení ječmene

Cílem máčení je řízeně v obilkách zvýšit obsah vody tak, aby se nastartovaly všechny biochemické děje vedoucí k tvorbě enzymů a klíčení. Obsah vody v obilce stoupne na úroveň 42 až 46 %. Dosažený obsah vody v namočeném ječmenu se nazývá stupeň domáčení a liší se podle typu vyráběného sladu [7, 9, 16].

Máčení probíhá ve strmé nádrži, tzv. náduvníku (obr. 6) se 45° kónickým dnem při teplotě 10 až 15 °C. Celková doba máčení se pohybuje od 60 do 90 h, nejčastěji 72 h. Do tohoto času jsou zahrnuté i vzdušné přestávky trvající 4 až 6 h mezi každou výměnou vody [8, 13].

Kyslík je nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje máčení. Při nedostatečném přísunu kyslíku dochází ke kvašení podle rovnice 2 a vznikající ethanol může poškodit klíček. Příjem vody ječným zrnem je dále ovlivněn teplotou vody, velikostí zrna, chemickým složením máčecí vody a technologií máčení [13].



Obrázek 6: Schéma strmé nádrže s kónickým dnem (náduvník) [7]

## – Klíčení ječmene

Při klíčení dochází k aktivaci a syntéze enzymů, tím se docílí požadovaného rozluštění (vnitřní přeměny) zrna. Jedná se o složitý vícestupňový proces, kterého se dosahuje umělým modelováním podmínek přirozeného klíčení jako je vhodná teplota, vláha a přístup kyslíku. Klíčení semen, respektive syntézu nových enzymů, regulují dva klíčové fytohormony, a to kyselina gibberalová a abscisová [13, 16, 17].

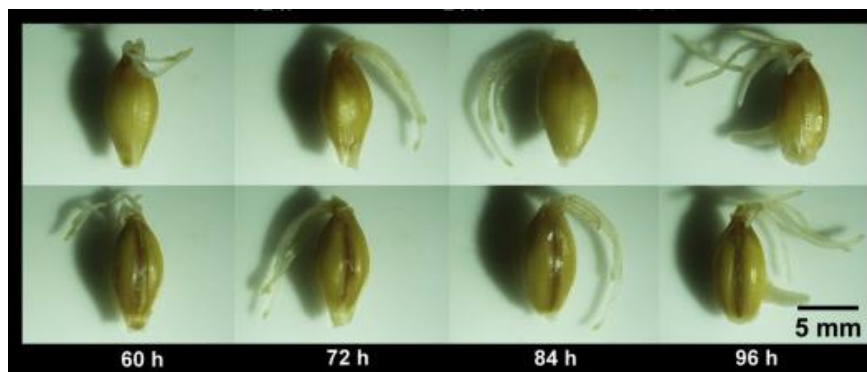
Enzymy potřebné při klíčení jsou:

- 1) Fosfatázy – uvolňují při štěpení organický fosfát [16].
- 2) Cytázy – štěpí neškrobové polysacharidy. Zrno jejich působením křehne a měkne, tím dochází k takzvanému cytolytickému rozluštění [16].
- 3) Amylázy (hlavně  $\beta$ -amyláza a  $\alpha$ -amyláza) – štěpí škrob endospermu na maltózu a glukózu, které jsou hlavním zdrojem energie pro životní procesy zrna [16, 17].

Optimální teplota klíčení se pohybuje v rozmezí 14 až 18 °C v závislosti na druhu vyráběného sladu a optimální doba klíčení je přibližně 72 hodin. Hromady ječmene se v počátečních stádiích klíčení musí často přehazovat. Tím dochází k provětrávání a zbavování se vznikajícího oxidu uhličitého, který brzdí aerobní dýchání zrna [13, 18, 19].

Sladovací zařízení se dělí na klasická a moderní. Do klasických sladoven jsou řazena humna. Humna jsou prostorné větrané místnosti, kde podlahy jsou z hlazeného betonu nebo dlaždic. Při klíčení hromada vykazuje charakteristická stadia nazývaná mokrá a suchá hromada, pukavka, stádium mladíka a vyrovnaná hromada. Moderní (pneumatické) sladovací zařízení mohou být bubnová, skříňová nebo věžová. Konečným produktem klíčení je zelený slad [16, 18].

Nejdůležitějším ukazatelem klíčení je délka klíčku, ta je měřítkem míry rozložení. Při dosažení optimální délky klíčku (3/4 až celá délka zrna) je potřeba postoupit do fáze sušení sladu, jinak dojde k přelůštění a znehodnocení sladu. Délky klíčů v závislosti na době klíčení jsou znázorněné na obr. 7 [9].



Obrázek 7: Fáze klíčení zrna v závislosti na době klíčení [19]

## – Hvozdění sladu

Během hvozdění se sníží obsah vody v zeleném sladu z původní hodnoty na hodnotu 4 až 6 %, tím dojde k zastavení všech biochemických pochodů. Ve fázi hvozdění dochází také k tvorbě chuťových (aromatických) a barevných (oxidoredukčních) látky [7, 9, 18].

První fázi hvozdění je sušení zeleného sladu šetrným způsobem při teplotě 20 až 60 °C při vysokém provzdušnění. Tím se sníží obsah vody na hodnotu 18 až 20 %. Další fáze hvozdění probíhá v slabém proudu horkého vzduchu při teplotách 60 až 80 °C pro světlé slady určené k výrobě světlých piv a 60 až 105 °C pro tmavé slady určené k výrobě polotmavých až tmavých piv [16, 18].

Při sušení a hvozdění se rozeznávají z hlediska chemických a biochemických změn tři fáze:

- 1) Růstová fáze – obsah vody ve sladu stále nad 20 %, teplota sušení 40 °C, zrno je schopné dále klíčit [16].
- 2) Enzymová fáze – obsah vody poklesne pod 20 %, teplota sušení mezi 40 až 60 °C, dojde k zastavení vegetačních procesů, ale stále pokračují enzymatické procesy [16].
- 3) Chemická fáze – obsah vody klesne pod 10 %, teplota sušení nad 60 °C, dojde k zastavení enzymové reakce, probíhají chemické procesy vedoucí k tvorbě barevných a chuťových látek [16].

Při hvozdění sladu probíhají dva hlavní typy chemických procesů, jedná se o Maillardovy reakce a karamelizaci [9, 20].

Karamelizace, neboli transformace redukujících sacharidů bez účasti aminosloučenin, je reakce hnědnutí cukrů, která probíhá ve vyšších rychlostech pouze při vysokých teplotách (u fruktózy při 110 °C, u glukózy při 160 °C a u maltózy při 180 °C). To jsou podmínky přípravy speciálních sladů (hlavně karamelové slady) [9, 20].

Maillardova reakce, neboli reakce redukujících sacharidů s aminosloučeninami, probíhají ve velmi širokém rozsahu teplot, již od 50 °C. Během těchto reakcí reagují cukry s aminosloučeninami za vzniku barevných a aromatických látek (melanoidů). V závislosti na teplotě a obsahu vody vznikají různé druhy melanoidů. Toho se využívá při přípravě různých druhů sladů [9, 20].

Zařízení určené k hvozdění se nazývá hvozd. Jeho hlavními konstrukčními prvky jsou vyhřívací systém, lístky (šachty), větrací systém, regulační a ovládací prvky. V dnešní době se využívají převážně vysokovýkonné jednolistové hvozdy [13].

## – Odklíčení a skladování

Po fázi hvozdnění se slad zbaví klíčků v zařízení zvaném odklešovač. Oddělené klíčky se označují jako „sladový květ“ a používají se v krmivářství a ve fermentačních technologiích [9].

Základní slady se po sladování musejí nechat ještě alespoň 4 až 6 týdnů odležet, aby získaly finální kvalitu. Speciální slady mohou během skladování ztrácet aroma a chuť, tudíž jsou obvykle pro úpravu nejlepší čerstvé. Slad se skladuje v zásobnících podle odrůdy a analytických vlastností [7, 9].

## Hodnocení jakosti sladu

Hodnocení jakosti sladu se provádí na základě mechanického, fyzikálně-chemického a biologického rozboru. Kvalita závisí na odrůdě použitého sladu, technologii sladování a na podmínkách skladování. Kvalita sladu má zásadní vliv na základní fyzikálně-chemické, biologické a organoleptické vlastnosti výsledného piva [10, 16].

Mezi mechanicky subjektivní znaky patří barva, tvar, velikost, vůně a chuť zrna, nečistoty a mikrobiální kontaminace. Mechanicky objektivními znaky jsou moučnost/sklovitost, křehkost zrn, vývin střelky uvnitř zrna, absolutní a hektolitrová hmotnost [10, 16].

Fyzikálně-chemický rozbor sladu zahrnuje obsah vody, extraktivnost sladu, vůni a barvu sladiny [16].

## Náhražky sladu (surogáty)

Jedná se o nesladové suroviny používané hlavně z ekonomických důvodů, aby se snížily náklady na sypání sladu. Lze je použít i v dobách a v místech s nedostatkem sladu pro výrobu piva. Některé náhražky se používají pro docílení vlastností specifických druhů piv, nebo pro výrobu bezlepkových piv [10, 16].

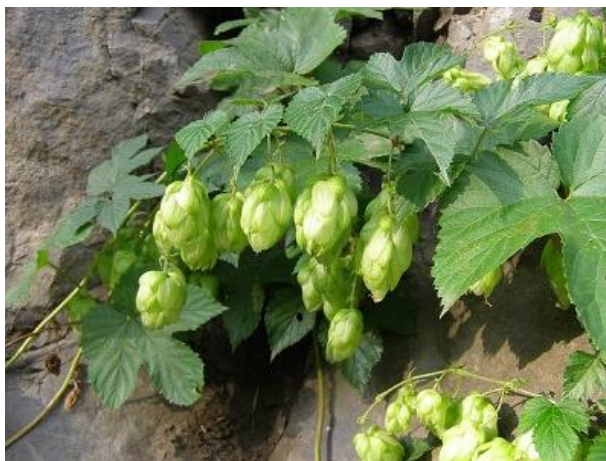
Podle způsobu zpracování se náhražky dělí na nepřímo zpracovatelné (škrobnaté) a přímo zpracovatelné (cukernaté). Podle konzistence se dělí na pevné a kapalné. Mají různé fyzikálně-chemické složení [10].

Mezi škrobnaté náhražky patří nesladované, případně tepelně opračované obilí, obilné vločky, předvařené obilné vločky, obilné mouky a škroby (bramborový a tapiokový) [10, 16].

Mezi cukernaté náhražky se řadí sacharóza, invertní cukr (po enzymové hydrolýze sacharózy), hydrolyzáty škrobů a cukerných výtažků, cukerné sirupy a mladinové extrakty (koncentráty) [10, 16].

### 1.2.2 Chmel

Chmel otáčivý (obr. 8) a z něj vyráběné přípravky jsou nezastupitelnou surovinou dodávající pivu typickou hořkost a aroma. V pivovarství se využívá pouze samičích chmelových hlávek chmele evropského (*Humulus lupulus* var. *europaeus*), samčí rostliny se využívají při šlechtění odrůd [10, 13].



Obrázek 8: Rostlinka chmelu otáčivého [21]

#### Morfologie chmelové rostliny

Chmel je vytrvalá dvoudomá rostlina. Hlavními částmi chmelové rostlinky jsou kořenová soustava, réva s pazochy, listy a květenství, které se vyvíjí do chmelových hlávek [9, 10].

Základ kořenové soustavy je zdřevnatělá babka, jejíž životnost je kolem 25 let. Hlavní kořeny rostou do hloubky až 6 m, postranní letní kořeny rostou těsně pod povrchem. Ze středu babky každoročně vyrůstá réva, která je pravotočivá (kolem drátů a tyčí se vine po směru hodinových ručiček). Na chmelnici dorůstá réva obvykle 7 až 8 m. Na postranních větévkách zvaných pazochy vyrůstají z révy květenství a listy [9, 10].

Samotné chmelové hlávky se skládají z vřetenka, pravých a krycích listenů. Na listenech se nacházejí lupulinové žlázy produkující lupulin, v němž jsou koncentrovány hořké a aromatické látky chmelu [10, 16].

#### Důležité látky obsažené v chmelu

Nejdůležitějšími složkami chmelu jsou chmelové pryskyřice a silice, které se extrahují vodní parou a dále polyfenoly, které se extrahují horkou vodou. Nositelem hořkosti jsou obecně pryskyřice složené z řady chemicky podobných sloučenin, z nichž nejvýrazněji ovlivňují hořkost produkty izomerace  $\alpha$ -hořkých kyselin [10, 16].

## **Pěstování a rozdělení chmele**

Kvalitu hlávek chmelových rostlin velmi ovlivňují ekologické podmínky stanoviště. Vhodné oblasti poskytují především oblasti mírného pásu severní polokoule s mírnými svahy a plochými údolími. Pro pěstování chmele jsou v České republice povoleny tři pěstitelské oblasti. (Žatecko, Ústěcko a Tršicko), Chmelové odrůdy se rozdělují podle zabarvení na červeňáky, pěstované především na Žatecku, a na zeleňáky, pěstované v zahraničí (Belgie, Anglie, Amerika) [10, 13, 16].

## **Zpracování chmele a chmelové výrobky**

Po sklizni se chmelové hlávky vysušit na úroveň vlhkosti 10 až 12 % při nízké teplotě se silnou cirkulací vzduchu. Takto usušený chmel je lépe skladovatelný. Chmel lze zpracovat mechanickými a fyzikálními úpravami a chemickými postupy. To vede ještě k lepší skladovatelnosti a k lepšímu využití pivovarsky cenných látek při chmelení. Nejběžnější mechanickou úpravou je chmelový prášek a z něj lisované pelety (obr. 9) [9, 10, 18].

Mezi fyzikální úpravy patří extrakce. Chmelové extrakty se vyrábí z rozemletého chmelu extrakcí ethanolem nebo superkritickým oxidem uhličitým. Extrakt obsahuje velké množství hořkých kyselin a silic, naopak je chudý na polyfenoly a dusičnany [9, 10, 16].

Chemickými postupy se vyrábějí speciální izoextrakty a izopelety, v nichž jsou již předem uskutečněny chemické přeměny, které jinak probíhají při chmelovaru. Představují surovinu, která mohou přírodní chmel nahradit pouze ve složce hořkosti, nikoliv aromatu či celkového chmelového charakteru. V tradičním pivovarském průmyslu se chemicky upravené chmelové výrobky používají jen velmi omezeně nebo vůbec, jelikož jsou omezeny řadou legislativních opatření [10, 13].



*Obrázek 9: Chmelové pelety (odrůda Žatecký poloraný červeňák) [12]*



### 1.2.3 Pivovarské kvasinky

Kvasinky jsou jednobuněčné houby o průměru přibližně 10 µm. Způsobují kvašení, které mění sladinu (cukernatý extrakt sladu) na pivo. Patří do čeledi *Saccharomycetaceae* a rodu *Saccharomyces*. Pro výrobu spodně kvašených piv se používá *Saccharomyces carlsbergensis* a pro svrchně kvašená piva *Saccharomyces cerevisiae* (obr. 10) [8, 18].

Kvasinky svrchního kvašení jsou při kvašení vynášeny na hladinu média vznikajícím oxidem uhličitým, zatímco kvasinky spodního kvašení mají povrch buněk spíše hydrofilní povahy, a proto při kvašení sedimentují. Konečným produktem kvašení je ethanol a oxid uhličitý, které vzniknou přeměnou monosacharidů. Tento děj je popsán rovnicí 3 [13, 23].

Při kvašení vznikají i další produkty, jako je glycerol, acetaldehyd, diacetyl a kyselina octová. Kvasinky jsou snášlivé pouze k určitému obsahu ethanolu v médiu, po dosažení množství ethanolu v médiu 10 až 12 % jeho produkce výrazně klesá [13, 23].



Obrázek 10: Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* pod mikroskopem [24]

### 1.2.4 Voda

Jedná se o nejdůležitější surovinu v sladařském a pivovarském průmyslu, neboť ovlivňuje kvalitu sladu a piva a také se jí objemově spotřebuje ze všech surovin nejvíce. Na výrobu jednoho litru piva se spotřebuje minimálně pět litrů vody, v některých případech až 20 litrů vody na čištění, chlazení a ohřev [10, 11, 13].

#### Dělení vody a zdroje vody

V pivovarnictví se voda dělí na vodu varnou, mycí a provozní. Varná voda tvoří 20 až 30 % z celkové spotřeby vody a musí svými vlastnostmi splňovat požadavky na vodu pitnou především z hlediska zdravotní a hygienické nezávadnosti. Zbylá část vody se spotřebuje k mytí a čištění, hlavně ve spilce, sklepě a stáčírňách, dále také k chlazení a v kotelnách. Hlavním zdrojem vody jsou vody spodní, pramenité, povrchové (ty jsou však nevhodné z důvodu vysokého znečištění) a vody z městských vodovodních řádů [10, 13, 16].

## Tvrdość vody

Vápenaté ( $\text{Ca}^{2+}$ ), hořečnaté ( $\text{Mg}^{2+}$ ) a hydrogenuhličitanové ( $\text{HCO}_3^-$ ) ionty rozpuštěné ve vodě jsou důležité pro výrobu piva, jelikož vytvářejí celkovou tvrdość vody. [8, 13].

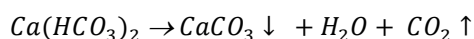
Tvrdość vody lze rozlišit na stálou a přechodnou. Tvrdość stálá je způsobena hořečnatými a vápenatými ionty, zatímco tvrdość přechodná je způsobena hydrogenuhličitanem, které se rozkládají varem. [10, 13]

Celková tvrdość vody je součtem tvrdości vody stálé a přechodné. Vyjadřuje se v mmol/l, případně často i ve °D (německý stupeň). Přitom  $1 \text{ mmol/l} = 5,6 \text{ °D}$ . Z hlediska tvrdości rozdělujeme vody od velmi měkkých (do 0,7 mmol/l), přes měkké, středně tvrdé, dosti tvrdé, tvrdé až po velmi tvrdé (nad 5,3 mmol/l). [8, 10, 13, 16].

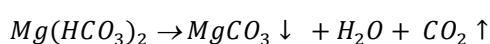
## Úprava varné vody

V dnešní době lze vodu efektivně upravovat, aby se vytvořila ideální pivovarská voda z téměř jakéhokoli zdroje surové vody, která je pitná. Úprava vod se provádí v zásadě třemi druhy operací: odstraněním suspendovaných látek, odstraněním nebo snížením nežádoucích rozpuštěných látek a odstraněním mikrobiální kontaminace [8, 10, 18].

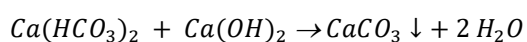
Po pískové filtraci, chloraci a uhlíkové filtraci za účelem vyčiření, vyčištění a dezinfekce surové vody se přidá kyselina k neutralizaci zásaditosti, popřípadě zásada k odkyselení. Finální úpravou je dekarbonizace (tvrdé) vody buď převařením (rovnice 4 a 5) nebo přidáním vápenné vody (rovnice 6 a 7) [10, 18].



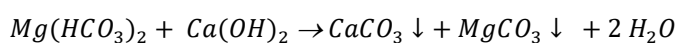
*Rovnice 4: Dekarbonizace  
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  varem [8, 10]*



*Rovnice 5: Dekarbonizace  
 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  varem [8, 10]*



*Rovnice 6: Dekarbonizace  
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  vápennou vodou [8, 10]*



*Rovnice 7: Dekarbonizace  
 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  vápennou vodou [8, 10]*

## 1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY PIVA

### 1.3.1 Výroba mladiny

Mladina se připravuje ve varně pivovaru ze sladu (eventuelně s částečnou náhražkou nesladovými obilovinami, škrobnatými přípravky nebo cukernatými náhražkami), z vody a chmelu či chmelových přípravků [10].

Skládá se z následujících technologických úseků: šrotování, vystírání, rmutování, scezování, vyslazování mláta, chmelovar a závěrečné úpravy mladiny.

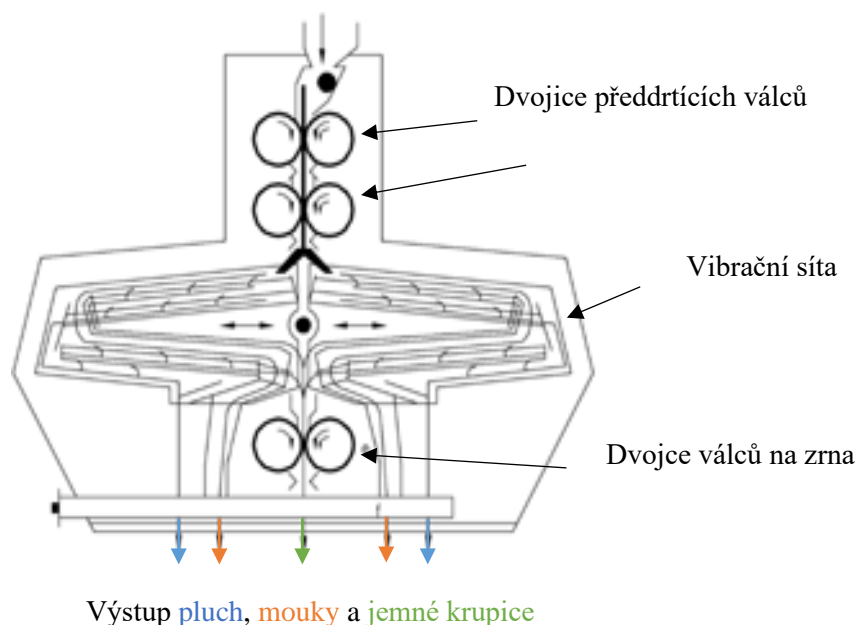
#### Kondicionování a šrotování sladu

Při šrotování dochází k dokonalému vymletí endospermu sladových zrn při zachování celistvosti obalových částí. Šrotování je nezbytné, neboť během vyslazování se mohou z pluch vyluhovat i nežádoucí látky, zejména hořké látky a trpce chutnající taniny [9, 10].

Obecně lze šrotování sladu provést za sucha, za sucha po kondicionování sladu nebo za mokra. Cílem kondicionování (zvlhčení vodní parou nebo teplou vodou) je zvýšit pružnost pluch a tím snížit jejich poškození během šrotování a snížit prašnost šrotování [10, 16].

Pro šrotování se využívá hladkých nebo rýhovaných litinových válců, které se otáčejí stejnou nebo různou rychlostí. Šrotovníky jsou umístěné ve šrotovnách v blízkosti varen [10].

Proces šrotování může být proveden v jednom kroku, nebo v procesu, kdy jsou určité částice podrobeny opakovanému mletí, podle toho se pohybuje počet mlecích válců. Šrotovníky mohou být jednoduché, dvou, čtyř nebo složitější šestiválcové mlýny s vibračním sítím mezi třemi páry válců (obr. 11) [8, 18].



Obrázek 11: Schéma šestiválcového mlýnu s vibračním sítím [18]

## Vystírání

Při vystírání dochází ke smíchání sladového šrotu s varnou vodou. Množství sladu (popřípadě jeho náhražek) použitého na jednu várku se nazývá sypání a objem vody, který je použit k vystírce, se nazývá nálev. Nálev se určuje podle sypání a typu piva, které je vyráběno. Vystírání se provádí za studena při teplotách do 20 °C, nebo za tepla při teplotách 35 až 38 °C [9, 10, 13].

## Rmutování

Při rmutování dochází ke štěpení a převodu optimálního podílu extraktu surovin (sladu, eventuelně jeho náhražek) do roztoku. Pouze menší část sladového extraktu je přímo rozpustná (15 až 17 %), zbytek nerozpustného extraktu se převede do rozpustné formy účinkem sladových enzymů, které štěpí vysokomolekulární látky sladu [10, 16].

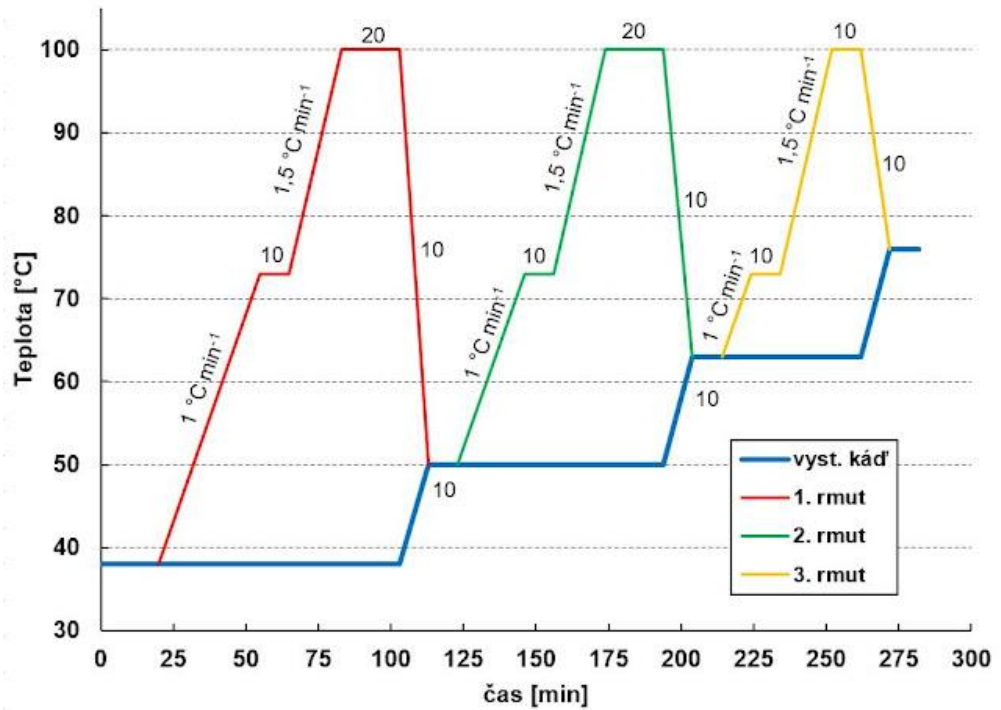
Rozlišují se dva hlavní postupy rmutování, a to dekokční a infuzní. Při dekokčním rmutování dochází k postupnému vyhřívání jednoho až tří podílů rmutu na technologicky důležité teploty a na závěr dojde k povaření těchto podílů. Průběh změny teploty na době rmutování třírmutového dekokčního postupu je znázorněn v grafu 1 [9, 10, 13, 25].

Infuzní postupy se provádí bez mechanického a tepelného povaření rmutů. Průběh změny teploty na době rmutování infuzního rmutování je znázorněn v grafu 2 [10].

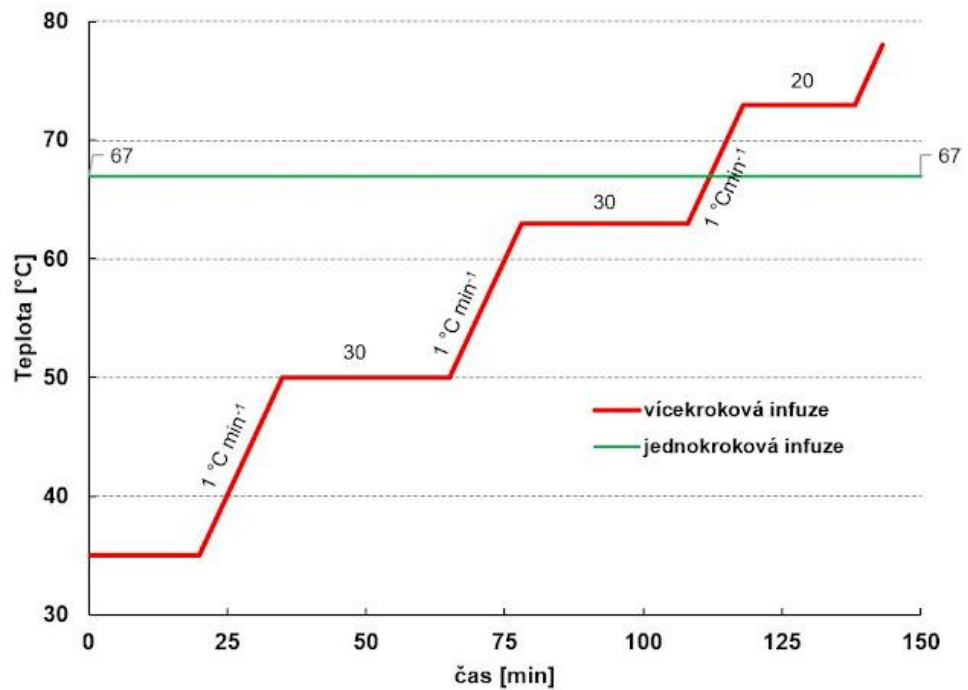
Povařením rmutu se zvýší jakost piva, výtěžek a výsledný obsah polyfenolů v pivu. Infuzní rmutování je nevhodné pro odrůdy ječmene, které nebývají tak rozluštěné, mají nižší výtěžnost a hůře dochází ke zcukření. Volba konkrétního postupu souvisí s typem vařeného piva [25].

Během obou postupů jsou dodržovány technologické prodlevy při teplotách vhodných pro práci enzymů. Jednotlivé technologicky důležité rmutovací teploty jsou [9, 10, 13]:

**Kyselinotvorná teplota** (35 až 38 °C), při které dochází ke zvýšení kyselosti díla. **Peptonizační teplota** (45 až 50 °C), při které jsou nejaktivnější proteolytické enzymy štěpící peptidy, bílkoviny a další dusíkaté látky. **Nižší cukrotvorná teplota** (60 až 65 °C), při které dochází ke štěpení amylozy a amylopektinu na maltózu, tím se v roztoku zvyšuje podíl redukujících cukrů. A vyšší **cukrotvorná teplota** (70 až 75 °C), při které dochází ke štěpení amylozy postupně až na maltózu a glukózu. Amylopektin je štěpen na dextriny, které jsou pak dále štěpeny na jednodušší sacharidy. Tato teplota se drží až do úplného zcukření. Po zcukření je dosaženo **odrmutovací teploty** (76 až 80 °C), při které jsou deaktivovány enzymy [9, 10, 13].



Graf 1: Závislost teploty na čase třírmutového dekokčního postupu [26]



Graf 2: Závislost teploty na čase infuzního rmutování [26]

## **Scezování a vyslazování**

Scezováním a vyslazováním se získá čirá sladina s maximálním obsahem extraktu, který do procesu přinesly suroviny. Jedná se v zásadě o fyzikální proces, filtraci, při kterém se oddělí předek (roztok obsahující extraktivní látky sladu) od zbytku sladového šrotu neboli mláta [10].

Scezování se provádí ve scezovací kádi, kde mláto po určité době sedimentuje a vytváří vrstvu, přes kterou protéká čistá sladina. První kalný podíl se vrací čerpadlem zpět do scezovací kádě. Až když stékající sladina (předek) dosáhne určité čirosti a stupňovitosti, tak se přepne ventil na potrubí a předek začne téct do mladinové pánve. Po scezování obsahuje mláto ještě hodně extraktu, a proto je nutné jej vysladit [2, 10].

Vyslazování se provádí promytím mláta horkou čistou vodou (75 až 78 °C). Z pravidla se opakuje 2 až 3krát. Tekuté podíly při vyslazování se nazývají výstřelky a po spojení s předkem dávají celkový objem sladiny [9, 10, 16].

Mláto oddělené při scezování se dopravuje čerpadlem do zásobníku mláta (mlátníku) a využívá se nejběžněji jako krmivo. Zvyšuje například dojivost krav [2].

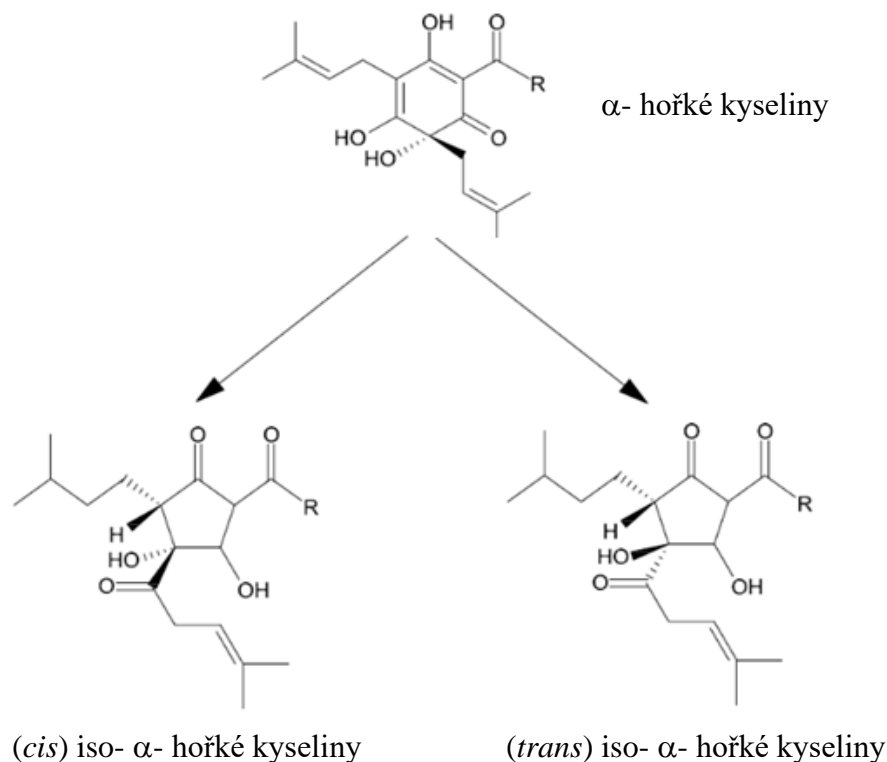
## **Chmelovar (chmelení)**

Při tomto technologickém kroku se sladina vaří s chmelem v mladinové pánvi a výsledný produkt je nazýván mladina. Během varu se postupně přidává samotný chmelový granulát nebo granulát v kombinaci s chmelovým extraktem. Přírodní chmel se používá výjimečně [2, 8, 16].

Doba chmelovaru trvá přibližně 90 min a jeho hlavními cíli jsou odpaření přebytečné vody, inaktivace enzymů, sterilizace mladiny, pokles pH, tvorba barevných, chuťových a aromatických látek, koagulace bílkovin, odstranění aldehydů a dimethylsulfínu (DMS) a extrakce účinných látek chmele do mladiny a jejich vhodná chemická přeměna [10, 13].

Chmelení probíhá v několika dávkách, většinou ve dvou až třech. Ihned, nebo krátce po dosažení varu, se přidá první dávka ve formě extraktu vysokoobsažného chmelu pro dosažení dostatečné výtěžnosti hořkých látek a požadované hořkosti piva. Druhá dávka se přidá obvykle v polovině chmelovaru a slouží především k získání chmelové chuti. Poslední dávka se přidá až ke konci chmelovaru k dodání příslušného aroma [9, 16].

Nejdůležitějším procesem chmelovaru a hořčení piva je izomerace  $\alpha$ -hořkých kyselin varem znázorněná na obr. 12. Vznikají tak iso- $\alpha$ -hořké kyseliny, které jsou hořčí a rozpustné i za studena. Rozsah izomerace roste s teplotou a dobou chmelovaru. Z celého množství hořkých látek obsažených v chmelu se do piva obvykle dostane 25 až 35 % [9, 10, 16].



Obrázek 12: Schéma izomerace  $\alpha$ - hořkých kyselin na iso- $\alpha$ - hořké kyseliny [16]

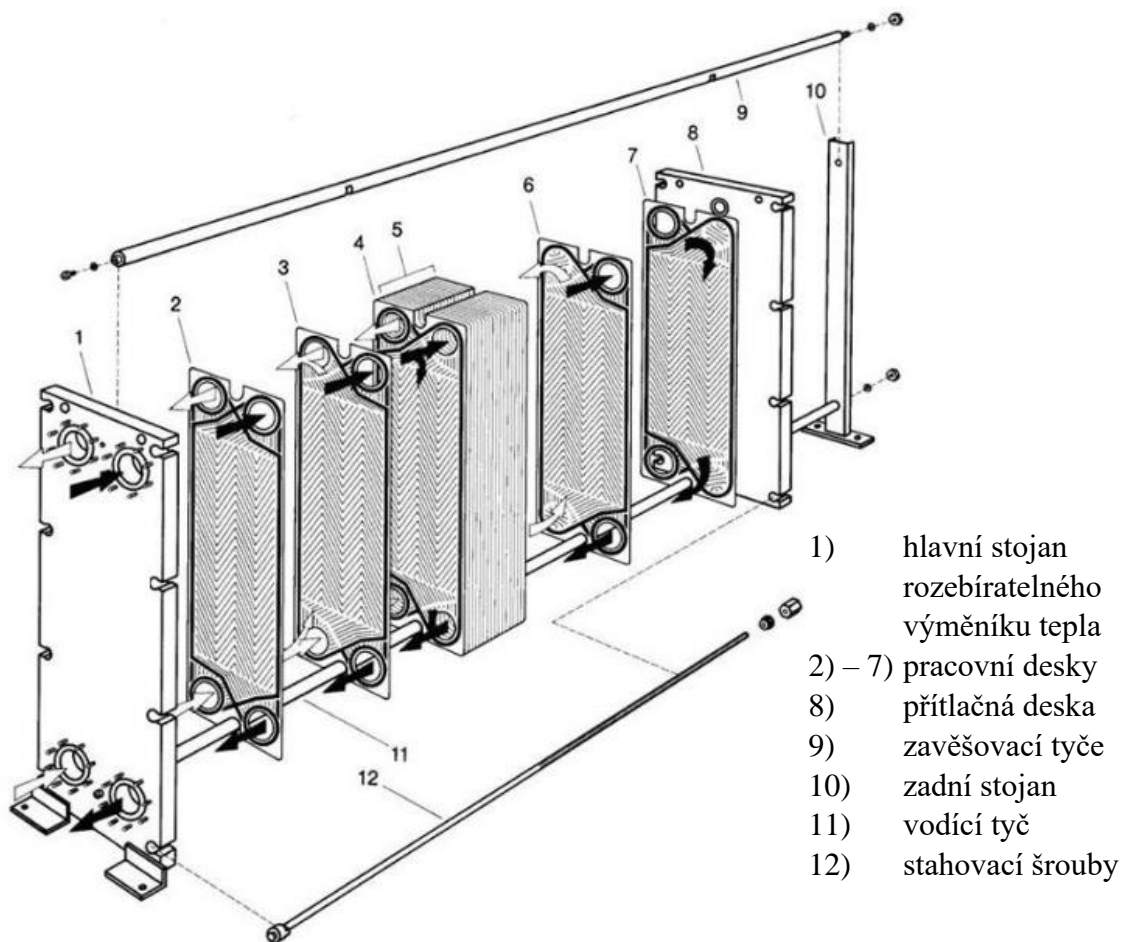
Dle způsobu provedení se rozlišuje atmosférický a tlakový chmelovar. Atmosférický probíhá za atmosférického tlaku při teplotě 100 °C v otevřených systémech po dobu 90 až 100 min. Tlakové chmelovary byly vyvinuté za účelem zkrácení doby chmelovaru a s cílem snížit vysokou spotřebu tepelné energie. Nízkotlaký chmelovar se provádí za mírně zvýšeného tlaku při teplotách 106 až 112 °C po dobu 30 až 45 min, vysokotlaký chmelovar se provádí za vysokého tlaku při teplotách 120 až 145 °C po dobu 5 až 15 min [10, 13].

### Chlazení mladiny a separace hrubých kalů

Mladina po chmelovaru obsahuje hrubé kaly, které by způsobovaly při kvašení problémy, proto se musí odstranit. Dříve se pro separaci kalů používaly chladičí stoky. Nyní se tato zařízení používají zřídka z důvodu možnosti mikrobiologické kontaminace. Jsou nahrazena vířivými nebo méně často usazovacími káděmi [2, 10].

Vířivé kádě pracují na principu rotování tangenciálně přiváděné mladiny, ta se přivádí tryskou umístěnou v jedné pětině výšky dosahované hladiny napouštěné mladiny. Síly, vyvolané pohybem rotující mladiny, vynesou těžší kaly ke středu vířivé kádě a tam se ukládají ve formě kuželu (koláče). Po zastavení pohybu se vyčeřená mladina pomalu odčerpá do chladiče mladiny tak, aby nedošlo k porušení vzniklého koláče [2, 10].

Po vyčechení je nutné mladinu schladit na zkrasitelnou teplotu a při této teplotě je potřeba ji provzdušnit, aby kvasinky, které se přidávají v následujícím procesu mely dostatek kyslíku. Ke zchlazení se používají jednostupňové nebo dvoustupňové deskové chladiče. Deskový chladič tvoří svazek paralelně uspořádaných, profilovaných desek z korozivzdorné oceli, mezi kterými střídavě proudí chlazená mladina a chladicí médium. Názorné schéma deskového chladiče na obr. 13. Chladicím médiem může být ledová voda, solanka nebo etylenglykol. Při správné volbě poměru objemu mladiny o teplotě kolem 95 °C k chladicí vodě se chladicí voda ohřeje na teplotu 80 až 82 °C a lze ji využít ve varně pivovaru [2, 10, 14].



- 1) hlavní stojan rozebíratelného výměníku tepla
- 2) – 7) pracovní desky
- 8) přítlačná deska
- 9) zavěšovací tyče
- 10) zadní stojan
- 11) vodící tyč
- 12) stahovací šrouby

Obrázek 13: Schéma deskového chladiče [27]



### 1.3.2 Hlavní kvašení mladiny

Cílem hlavního kvašení je neúplné zkvašení cukernatých látek obsažených v mladině pivovarskými kvasinkami za tvorby ethanolu a oxidu uhličitého. V jeho průběhu dochází k vytváření sensoricky aktivních látek podílejících se na výsledné chuti piva. Jedná se o vyšší alifatické a aromatické alkoholy, estery, organické kyseliny, karbonylové sloučeniny a vícesytné alkoholy [10, 16, 18].

V pivovarech se ke kvašení využívají buď otevřené kvasné kádě, umístěné ve větraných a chlazených místnostech (5 až 10 °C), aby se nehromadil oxid uhličitý, nebo v dnešní době nejpoužívanější uzavřené, tlakové cylindro-kónické tanky (CKT) vyrobené z nerezové oceli (obr. 14). CKT mají mnoho výhod, jako je malá zastavěná plocha na velkou kapacitu, nižší riziko kontaminace, možnost zachytávání a využívání oxidu uhličitého, snazší udržování teploty a mnohem větší a jednodušší automatizace procesu [9, 16].

Celková doba hlavního kvašení se liší v závislosti na druhu vyráběného piva, trvá přibližně 6 až 10 dní [13].



Obrázek 14: Cylindro-kónické tanky [28]

Během hlavního kvašení se rozlišuje několik fází (zprašování, nízké bílé kroužky, vysoké hnědé kroužky a propadání deky), které se liší činností kvasinek, a tak i vnějšími projevy, které technologicky pozorujeme. Při zprašování je pozorovatelná bílá pěna na hladině mladiny, při fázi tvorby nízkých bílých kroužků jsou na hladině pozorovatelné typické bílé růžičky pěny. Při fázi tvorby vysokých hnědých kroužků jsou kroužky pěny zbarveny vynášenými kaly a ve fázi propadávání deky začínají propadávat světlé kroužky a na hladině zůstává hustá, tmavá deka, která je tvořena kvasinkami, kaly a hořkými látkami. [9, 10]

### 1.3.3 Dokvašení mladého piva a zrání (ležení) piva

V průběhu dokvašování a zrání mladého piva se spotřebovávají zbývajících zkvasitelné cukry, to vede k nasycení piva vznikajícím oxidem uhličitým. V této fázi probíhají fyzikálně-chemické a biochemické děje vedoucí k vyčiření piva a tvorby sensorického charakteru piva. Pivo získává přirozenou koloidní stabilitu [10, 16].

Dokvašování probíhá v ležáckých nádobách v podzemních sklepích při teplotě  $-2$  až  $3$  °C nebo v izolovaných chlazených budovách. Dokvašování a zrání je možné provádět současně s hlavním kvašením v CKT. Celková doba dokvašování a zrání kolísá v závislosti na typu piva a koncentraci mladiny v rozmezí 1 až 10 týdnů [9, 10, 16].

### 1.3.4 Závěrečná úprava piva

Mezi hlavní závěrečné úpravy patří filtrace, pasterace a stabilizace. Mezi další úpravy před stáčením patří dosycení oxidem uhličitým a ředění piva vyrobeného z vysokoprocentní mladiny [16, 18].

#### **Filtrace**

Pomocí filtrace se pivo zbaví kalických látek, tím se dosáhne požadované čirosti a zvýší se biologická a koloidní stabilita [10, 16].

Filtraci lze provést na deskových naplavovacích filtrech, kde se pivo filtruje přes naplavenou křemelinu. Filtrovat lze také přes filtrační desky vyrobené ze směsi celulózy a křemeliny. Nejmodernější technologií filtrace je membránová filtrace, pomocí které lze nahradit pasteraci, a tím i negativní působení tepla na chuťovou a koloidní stabilitu piva. Filtrace se provádí při nízké teplotě (až  $-2$  °C) za protitlaku oxidu uhličitého nad jeho úroveň nasycení [10, 18].

#### **Pasterace**

Jedná se o tepelnou úpravu s cílem zajistit biologickou trvanlivost piva (stabilitu). Dochází k tepelné inaktivaci mikroorganismů, které mohou kazit pivo. Tím se liší od sterilace, což je tepelná inaktivace všech mikroorganismů. Nejběžnějšími kazícími organismy jsou *Lactobacillus sp.* a *Pediococcus sp.*, které produkují kyselinu a diacetyl. Jedná se o anaerobní bakterie, které mohou růst v baleném pivu během distribuce ke spotřebiteli [8, 10].

Pasterace se kvantitativně vyjadřuje pasterační jednotkou (1 PJ = působení tepla  $60$  °C po dobu 1 min). V praxi se pivo ošetřuje v rozmezí 20 až 30 PJ [16].

Pasterace se provádí před stáčením průtokem přes průtokový pastér nebo po naplnění a uzavření lahví v tunelovém pastéru [10, 16].

## **Stabilizace**

Po delší době skladování dochází v pivu působením vzdušného kyslíku, teplotními výkyvy a působením světelného záření k tvorbě tzn. trvalého zákalu. To je způsobeno transformací volných bílkovino-polyfenolových komplexů na stabilní [8, 16].

Zamezit tvorbě zákalu lze přidavkem koloidních stabilizátorů. Používají se hlavně adsorpční stabilizátory a antioxidační činidla. Stabilizační přípravky se dávkují do piva buď před koncem dokvašování nebo při filtraci a rovnou se filtrací odstraní (pouze ty adsorpční), takže doba kontaktu s pivem je krátká [8, 16, 18].

Stabilizátory prodlužují trvanlivost výrobku, na druhou stranu se pivo ochuzuje o látky, které spoluvytváří plnost chuti, proto se stabilizace provádí pouze u piv, kterým chce výrobce zaručit dlouhou trvanlivost [16].

## **Stáčení a expedice piva**

Stáčení piva do transportních a spotřebitelských obalů je konečnou fází výroby. Pivo lze stáčet do cisteren, sudů, skleněných nebo plastových lahví a do kovových plechovek. K přepravě lahví a plechovek slouží sekundární obaly [13, 29].

Pivo se stáčí pod tlakem oxidu uhličitého do obalů předplněných oxidem uhličitým nebo směsí oxidu uhličitého a dusíku, aby se zamezilo styku s kyslíkem a aby nedocházelo ke ztrátám oxidu uhličitého [8, 13].

Důležitým požadavkem pro stáčení je zajištění dokonalé sanitace všech zařízení, která přicházejí do styku s pivem. To se provádí výplachem exportních nádob 2 % alkalickým prostředkem při 90 °C, následně teplou a studenou pitnou vodou [16].

## 1.4 VÝSLEDNÉ SLOŽENÍ PIVA

Pivo jako takové je disperzní systém. Jedná se o koloidní roztok bílkovin, nukleových kyselin, sacharidů a lipidů. V závislosti na extraktu původní mladiny obsahuje pivo asi 2 až 6 % extraktivních látek. Hlavní složkou extraktu jsou sacharidy, dusíkaté látky, polyfenoly a hořké látky z chmele [30].

### 1.4.1 Voda

Výsledný obsah vody v hotovém pivu je až 92 %, proto oproti jiným alkoholickým nápojům účinně hasí žízeň a zabraňuje dehydrataci, k níž dochází vlivem alkoholu. Veškerá voda, která je součástí výsledného složení piva, musí splňovat chemickou a mikrobiologickou kvalitu. Většina anorganických iontů obsažených v pivu pochází především z vody a ze sladu, jedná se o hořečnaté, draselné, sodné, vápenaté kationty a chloridové, síranové, a dusičnanové anionty [11, 31].

### 1.4.2 Oxid uhličitý

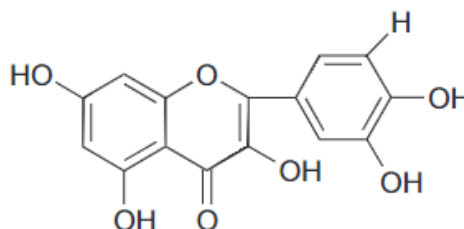
Oxid uhličitý se do piva dostává přirozeně, především při fermentaci, kdy jsou monosacharidy přeměňovány kvasinkami na ethanol a oxid uhličitý. Výsledný produkt poté obsahuje 3,5 až 4,5 g CO<sub>2</sub>/l. Oxid uhličitý je zodpovědný za tvorbu pěny [11].

### 1.4.3 Polyfenoly

Polyfenoly jsou velmi různorodé látky, proto i jejich účinek je různý. Obecně působí jako antioxidanty, pomáhají tlumit kardiovaskulární a nádorová onemocnění, Parkinsonovu a Alzheimerovu chorobu, mají antimutagenní a antimikrobiální vlastnosti [10, 30].

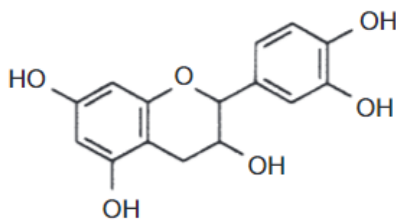
Nejvíce zastoupenou skupinou polyfenolových složek v pivu představují flavonoidy, které se dále dělí na flavonoly, flavanoidy a chalkony [32].

Flavonoly jsou obsaženy ve velmi nízkých koncentracích. Jedná se převážně o mono-, di- a tri-glykosidy kvercetinu (obr. 15) [31, 32].



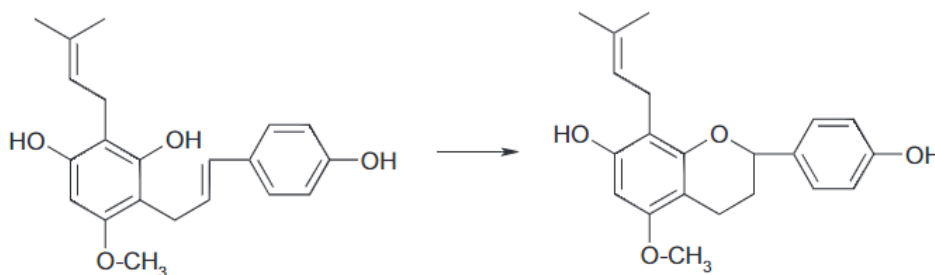
Obrázek 15: Kvercetin [32]

Flavanoidy tvoří velmi rozmanitou a důležitou skupinu. V pivu se vyskytují v relativně vysokých koncentracích (až 5 % hmotnosti v sušině). Patří sem hlavně katechin (obr. 16) a epikatechin [31, 32].



Obrázek 16: Katechin [32]

Z chalkonů je nejdůležitější xanthohumol, který působí jako inhibitor různých typů rakovinových nádorů a má antimikrobiální, protizánětlivé a antioxidační účinky. Jeho koncentrace v pivu je podstatně nižší než v samotném chmelu, což je způsobeno termickou izomerizací během chmelovaru na isoxanthohumol. Izomerace znázorněná na obr. 17 [31, 23].



Obrázek 17: Izomerace xanthohumolu na isoxanthohumol při chmelovaru [32]

#### 1.4.4 Sacharidy

Sacharidy jsou hlavním zdrojem celkové energie piva. Mezi hlavní sacharidy, vyskytující se v pivu, patří fruktóza, glukóza a maltóza, které vznikají ze sladu ve fázi rmutování enzymatickým štěpením. V pivu jsou obsaženy také dextriny, což jsou molekuly složené ze 4 až 10 jednotek glukózy. Celkový obsah sacharidu v pivu je 27 g/l. [10, 34, 35].

#### 1.4.5 Bílkoviny

Bílkoviny v pivu pocházejí hlavně z ječného zrna. Většina z nich se do piva dostává při procesu vystírání a rmutování sladu [36].

Jednoduché bílkoviny obsažené v pivu se dělí podle relativní molekulové hmotnosti na albuminy, globuliny, gluteniny a prolaminy. Albuminy, globuliny a prolaminy se podílejí na tvorbě koloidního zákalu. Gluteniny zvyšují stabilitu pивní pěny [36, 37].

Výsledný obsah bílkovin obsažených v pivu se pohybuje kolem 4 g/l [10].

#### **1.4.6 Vitamíny**

Pivo obsahuje zejména všechny vitamíny skupiny B, přičemž nejdůležitější je vitamín B2 a vitamín B6. Denní potřeba obou těchto vitamínů je při konzumaci 1 l piva kryta ze 17 %. Stejně procento je pokryto v případě vitamínu H. Kromě vitamínu B a H pivo obsahuje i vitamíny C a E, které jsou řazeny mezi antioxidanty [30, 31].

Množství přítomných vitamínů závisí na surovinách a také na výrobních postupech, většina pochází ze sladu a část se tvoří z kvasinek během fermentace [33, 38].

#### **1.4.7 Organické kyseliny**

Většina piv má přibližnou hodnotu pH od 4 do 5, některá pouze 3. Za nízké pH jsou zodpovědné převážně organické kyseliny spolu s oxidem uhličitým. Organické kyseliny jsou metabolity nebo meziprodukty kvašení. Jejich výsledný obsah v pivu je nízký, v rozmezí 0,2 až 0,5 g/l [11].

#### **1.4.8 Vlákna**

Za vlákninu obsaženou v pivu se považuje  $\beta$ -glukan. Jeho celkový obsah v pivu se pohybuje v poměrně širokém rozmezí od 0,4 do 6,2 g/l, z čehož rozpustný  $\beta$ -glukan tvoří 0,01 až 0,3 g/l, zbytek tvoří nerozpustný  $\beta$ -glukan, který má příznivé účinky. Vlákna podporuje celkový zdravotní stav metabolismu tím, že podporuje růst zdraví prospěšných bakterií ve střevě [10, 39].

#### **1.4.9 Hořké chmelové látky**

Zdrojem hořkosti piva je chmel, ve kterém jsou obsaženy  $\alpha$ -hořké kyseliny a  $\beta$ -hořké kyseliny. Při procesu chmelovaru se z těchto látek tvoří jejich izomerizační a transformační produkty. Nejdůležitější z těchto produktů jsou iso- $\alpha$ -hořké kyseliny, které jsou hlavní složkou hořkosti. Mezinárodní jednotkou pro měření hořkosti je IBU, která udává přibližnou hodnotu iso- $\alpha$ -hořkých kyselin přítomných v miligramech na litr piva [40].

## 1.5 MĚŘENÍ BAREVNOSTI POTRAVIN

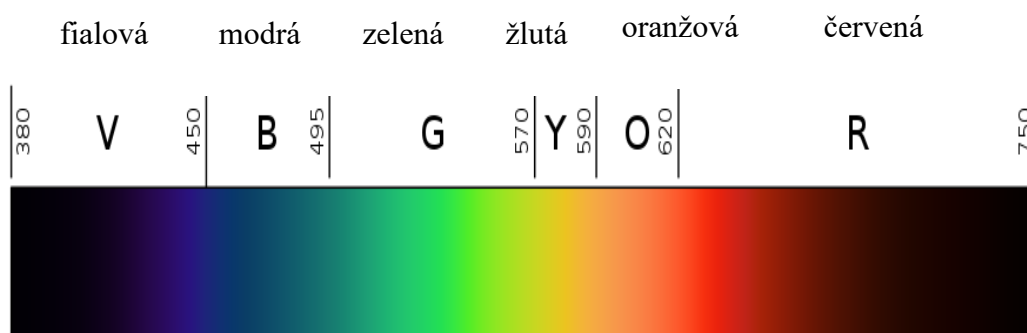
První vlastnost, kterou spotřebitel obecně na potravinách pozoruje, je jejich barva. Ta je důležitá pro vnímání chuti a může ovlivnit, kterých produktů si spotřebitel všimne a které si nakonec rozhodne koupit [41, 42].

### 1.5.1 Základy teorie barev

Každý světelný zdroj vyzařuje světelnou energii do svého okolí ve formě elektromagnetického záření. V celém elektromagnetickém spektru existuje několik druhů záření, jako jsou gama záření, paprsky X, ultrafialové, viditelné, infračervené, mikrovlnné záření a rozhlasové a televizní vlny. Elektromagnetické záření dopadá na povrch objektu, kde je v závislosti na vlnové délce část světelných paprsků pohlcena a část paprsků je odražena zpět do okolí. Vlnová délka viditelného (bílého) světla se pohybuje od 380 nm do 760 nm. Látky pohlcující záření v této oblasti se nám jeví, vzhledem ke spektrální citlivosti lidského oka, jako barevné [43, 44, 45, 46].

Světelné zdroje se obecně dělí na primární a sekundární. Primární zdroj svítí vlastním světlem (slunce, svíčka, elektrické zdroje světla, ...), zatímco sekundární zdroj svítí cizím, obvykle procházejícím, nebo odraženým světlem jiného světelného zdroje (obloha, měsíc, ...). Uvážíme-li druhý případ sekundárního zdroje, tak na procesu vidění a posouzení odstínu barvy se podílí tři složky, a to zdroj světla, pozorovaný objekt a pozorovatel [43, 47, 48].

Základem všech barev jsou vždy 3 primární barvy, jejichž mícháním vznikají další odstíny. Smícháním primárních barev dostaneme sekundární barvy. Smícháním sekundárních barev získáme barvy terciální, a tak dále, dokud nedostaneme celé barevné spektrum (obr. 18) [45].



Obrázek 18: Barevné spektrum [49]

## 1.5.2 Kolorimetrie

Kolorimetrie je nauka o barvách. Slouží k objektivnímu popisu barev a snaží se barvu popsat pomocí spojitých funkcí/parametrů, které se dají vzájemně porovnávat [43, 48].

### Základní veličiny a vztahy využívané v kolorimetrii

#### – Reflektance

Pomocí reflektance lze vyjádřit, jaké množství světla určité vlnové délky se od objektu odrazilo v poměru k množství, které na materiál dopadlo. Výpočet reflektance uveden v rovnici 8 [43].

$$R(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}$$

*Rovnice 8: Výpočet reflektance [43]*

$R(\lambda)$ ... reflektance při vlnové délce  $\lambda$   
 $I(\lambda)$ ... intenzita odraženého světla při vlnové délce ( $\lambda$ )  
 $I_0(\lambda)$ ... intenzita dopadajícího světla při vlnové délce ( $\lambda$ )

#### – Transmittance

Transmittance vyjadřuje množství světla určité vlnové délky, které projde vzorkem. V praxi je potřeba eliminovat vliv absorpce a odrazu světla optikou měřicího přístroje, proto se transmittance měří vzhledem ke slepému vzorku. Výpočet transmittance uveden v rovnici 9 [45].

$$T = \frac{I_v}{I_b}$$

*Rovnice 9: Výpočet transmittance [45]*

$T$ ... transmittance  
 $I_v$ ... intenzita světla prošlého vzorkem  
 $I_b$ ... intenzita světla prošlého slepým vzorkem

Transmittance barevného roztoku závisí na vlastnostech absorbující látky, vlnové délce procházejícího světla, množství absorbující látky (její koncentrace v roztoku) a na tloušťce kyvety. Tuto závislost poprvé formuloval August Beer (rovnice 10) [45].

$$T = 10^{-\varepsilon * l * c},$$

po úpravě:  $-\log T = \varepsilon * l * c$

*Rovnice 10: Výpočet transmittance podle Augusta Beera [45]*

$\varepsilon$ ... molární dekadický absorpční koeficient  
 $l$ ... optická délka kyvety  
 $c$ ... látková koncentrace absorbující látky

#### – Absorbance

Na základě vztahu pro transmittanci lze definovat absorbance, která udává, kolik světla bylo pohlceno roztokem. Je přímo úměrná koncentraci absorbující látky a výsledný vztah je označován jako Lambertův-Beerův zákon (rovnice 11) [45].

$$A = -\log T = \varepsilon * l * c$$

*Rovnice 11: Výpočet absorbance (Lambertův-Beerův zákon) [45]*

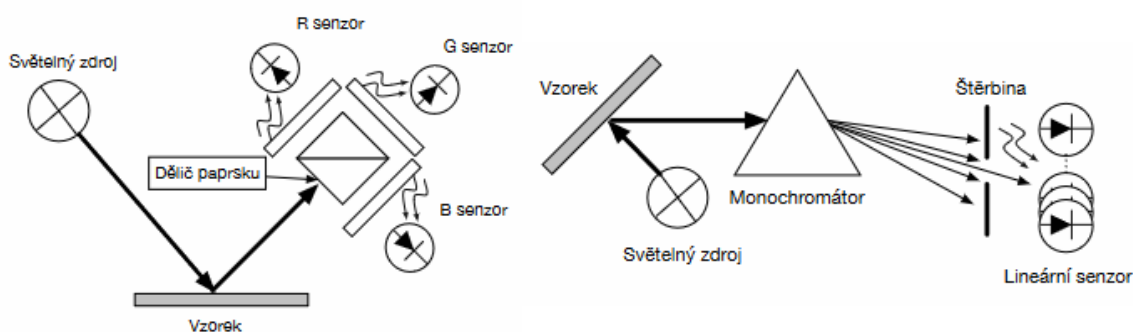
$A$ ... absorbance



## Instrumentace

Kolorimetrické přístroje se dělí do dvou skupin, a to na kolorimetry a na spektrofotometry. Principiálně se kolorimetry i spektrofotometry skládají ze čtyř částí: zdroje světla (halogenová žárovka nebo výbojka), monochromatoru (pouze u spektrofotometru), místa na umístění vzorku a detektoru [45, 48].

Zásadním rozdílem mezi kolorimetry a spektrofotometry je to, že kolorimetry měří pouze při jedné nebo jen několika přesně definovaných vlnových délkách monochromatického světla. Zatímco u spektrofotometru je možné libovolně nastavit vlnovou délku monochromatického světla nebo měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek. Možnost nastavení vlnové délky je dána přítomností monochromatoru, který rozdělí bílé polychromatické světlo na pásy vlnových délek. Šířku vlnových délek lze pak měnit pomocí štěrbin a rozlišení receptoru. Schéma kolorimetru i spektrofotometru je znázorněné na obr. 19 [45, 48].



Obrázek 19: Schéma kolorimetru (vlevo) a schéma reflexního spektrofotometru s polychromatickým osvětlením (vpravo) [48]

Využití kolorimetru a spektrofotometru v potravinářství je různorodé. K měření zákalu tekutin (voda, víno, pivo, ...) se používá například fotometr SIGRIST ColourPlus 2 in-line (obr. 20).

K rychlé a jednoduché kontrole kvality potravin se dají využít jak přenosné, tak laboratorní přístroje od firem HunterLab Inc. a Konica Minolta Sensing (obr. 21) [45].



Obrázek 20: Absorpční fotometr SIGRIST ColourPlus 2 in-line [50]



Obrázek 21: Stolní spektrofotometr CM-5 od firmy Konica Minolta Sensing INC [51]

## 1.6 MEZINÁRODNÍ KOMISE PRO OSVĚTLENÍ (CIE)

Měření barevnosti je poměrně stará disciplína, jejíž počátky je možno sledovat již od Isaaca Newtona, který vytvořil první kruhový diagram barev v roce 1666. Nicméně základy moderního a praktického měření barevnosti se datují až od 30. let dvacátého století, kdy Mezinárodní komise pro osvětlení představila systém založený na vnímání RGB hodnot [46, 48].

Jak již bylo zmíněno, pro měření barevnosti je zapotřebí definovat tři složky: zdroj světla, pozorovaný objekt a pozorovatel. V roce 1931 CIE schválila sadu doporučení, které objektivně popisují a standardizují vlastnosti jednotlivých složek nutných pro vznik vizuálního vjemu [43, 48].

### 1.6.1 Standardní zdroje světla

V roce 1931 zasedání CIE definovalo tři standardní zdroje osvětlení A, B a C, ke kterým byla později přidána sada pro denní osvětlení D, hypotetické osvětlení E a sada neoficiálních zářivkových osvětlení F [48, 52].

Nejvíce rozšířenými zdroji osvětlení jsou A (žárovky) a sada osvětlení D (D50, D65, D75). Číslo určuje teplotu chromatičnosti. Ta stanovuje barvu světelného zdroje a udává se v Kelvinech (K). Barvy tepelného zdroje pro jednotlivé teploty jsou k vidění na obr. 22 [43, 46].

Zdroj má takovou barevnost, jako absolutně černé těleso zahřáté na tuto teplotu. Například zdroj D65 má barevnost jako absolutně černé těleso zahřáté na 6500 K [46, 53].



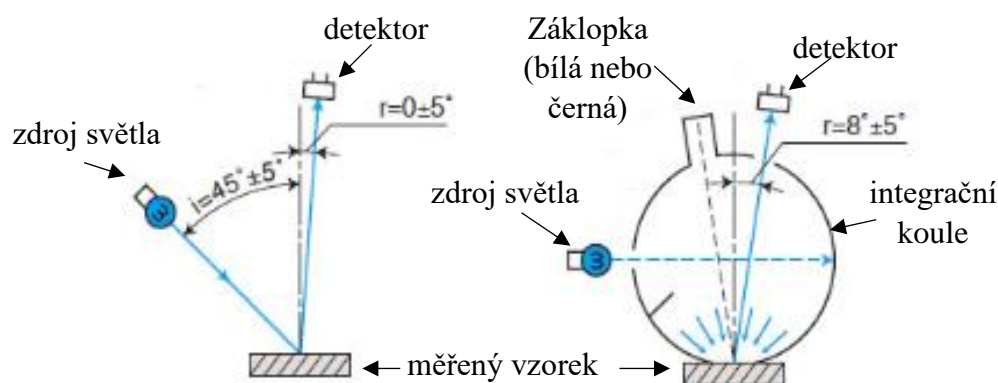
Obrázek 22: Barva světla (teplota chromatičnosti [53])

### 1.6.2 Standardní podmínky osvětlení a pozorování

Přístroje pro měření barev, včetně spektrofotometrů a kolorimetrů, osvětlují objekt pod určitými úhly, aby detekovaly jeho barvu. Podmínky osvětlení a pozorování vyjadřují geometrické uspořádání měřící soustavy. Tedy pod jakým úhlem dopadá světlo a pod jakým úhlem je snímáno [43, 54].

Základní typy geometrického uspořádání jsou 45/0, 0/45, 8/d, d/8. První číslo určuje, pod jakým úhlem světlo dopadá, druhé číslo, pod jakým je snímáno. Označení „d“ znamená difuzní osvětlení. Geometrické uspořádání 45/0 a d/8 k vidění na obr. 23 [43, 54].

U geometrických systémů 45/0 a 0/45 se vždy snímá paprsek, který je mimo přímý odraz. U geometrických systémů s integrační koulí 8/d a d/8 je objekt osvětlen buď rovnoměrně ze všech stran, nebo je ze všech stran odrazu přiveden signál do detektoru [43, 54].



Obrázek 23: Geometrický systém 45/0 (vlevo) a geometrický systém d/8 (vpravo) [54]

### 1.6.3 Standardní pozorovatel

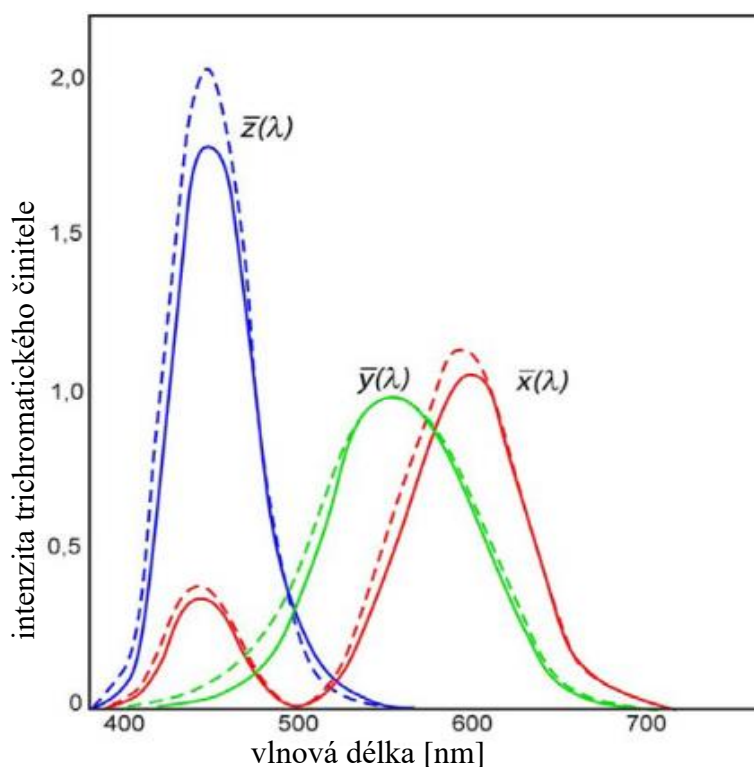
Vnímání barev lidským okem je velice subjektivní a každý vnímá barvy různě, proto bylo nutné definovat standardního pozorovatele pomocí tří funkcí, které jsou nazývány trichromatické činitele  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ . Tyto funkce vyjadřují citlivost pozorovatele. Závislosti intenzit trichromatických činitelů na vlnové délce jsou znázorněny v grafu 3 [43, 55].

Komise CIE definovala dva standardní pozorovatele rozlišené podle úhlu vstupu paprsků do oka a tím i do sítnice [56].

Hodnoty trichromatických činitelů  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  byly nejprve stanoveny pro vnímání barev pouze pro nejcitlivější část oka (žlutou skvrnu), která obsahuje pouze čípky. Tyto hodnoty platí pouze tehdy, zaujímá-li zorné pole prostorový úhel  $1,5^\circ$  až max.  $4^\circ$ . Standardně  $2^\circ$ , odtud se takto získané hodnoty trichromatických činitelů označují jako  $2^\circ$  nebo CIE normální pozorovatel z roku 1931 [43, 48].

V praxi záření vniká do oka pod větším pozorovacím úhlem. Proto byl v roce 1964 CIE definován doplňkový  $10^\circ$  pozorovatel pro pozorování pod větším zorným úhlem, kde se na sítnici kromě čípků vyskytují i tyčinky [43, 45].

Standardní pozorovatel byl získán experimentálně tak, že náhodní pozorovatelé měli pomocí tří světél (červené, zelené a modré) namíchat takou barvu, která by byla shodná s barvou monochromatického světla o určité vlnové délce [43, 52].



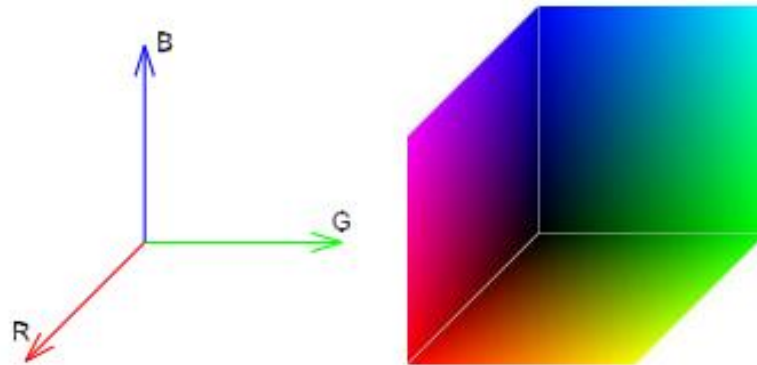
Graf 3: Závislost intenzity trichromatických činitelů  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  na vlnové délce (pro  $2^\circ$  pozorovatele – plné čáry; pro  $10^\circ$  pozorovatele – čárkované čáry) [52]

## 1.7 RGB (Red, Green, Blue) BAREVNÝ PROSTOR

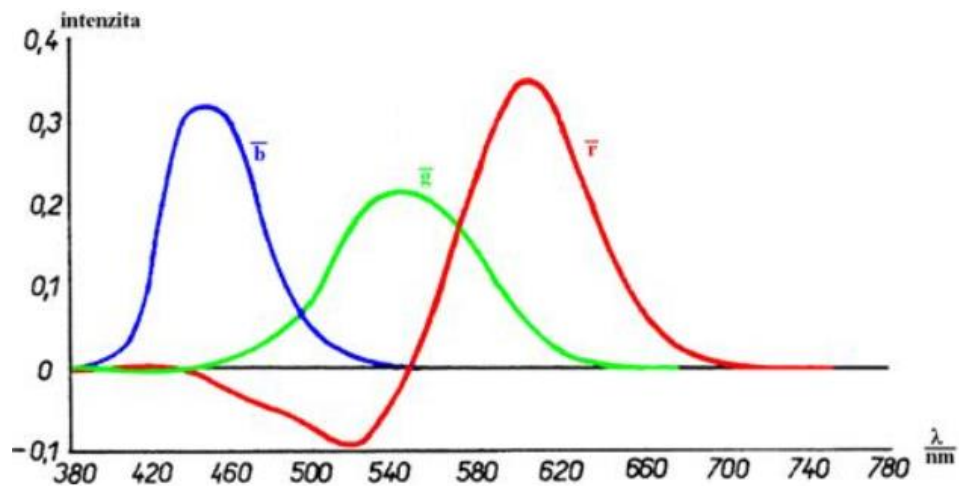
V 19. století definoval fyzik Thomas Young, jakým způsobem pracuje lidské vnímání barev. Představil svůj model vnímání barev pomocí tří vjemových fotoreceptorů. V lidském oku se nachází celkem čtyři druhy fotoreceptorů, nicméně fotoreceptory nazývané tyčinky jsou odpovědné pouze za vnímání jasu při nízkých intenzitách osvětlení a v podstatě vidí černobíle. Zbylé receptory odpovědné za vnímání barev jsou čípky. Rozlišují se tři druhy čípků citlivé na červenou, zelenou a modrou oblast viditelného záření. Proto se červená, zelená a modrá barva řadí mezi základní barvy [43, 46, 56, 57].

Jedná se o aditivní barvy, to znamená, že jakákoliv barva může být vyjádřena jako směs složek R, G, B. Výslednou barvu v RGB modelu lze popsat pomocí vektorů  $\{r, g, b\}$ . Poloha všech barev je zobrazena v trojrozměrném kolorimetrickém prostoru (obr. 24) [48, 46].

Vzhledem k rozdílné citlivosti lidského oka je nutné pro vyhodnocení barev v RGB systému zavést trichromatické činitele  $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ , a tím vyjádřit citlivost pozorovatele. Závislosti intenzit trichromatických činitelů na vlnové délce jsou znázorněny v grafu 4 [58].



Obrázek 24: Trojrozměrný kolorimetrický prostor [56]



Graf 4: Závislost trichromatických činitelů  $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$  na vlnové délce [58]

## 1.8 CIEXYZ BAREVNÝ PROSTOR

Z grafu 4 vyplývá, že některé sytější zelené a modré barvy nelze rozdělit na tři primární barvy s kladným trichromatickým činitelem. Činitel  $\bar{r}$  v rozsahu spektra přibližně 450 nm až 550 nm by musel být pro tyto barvy záporný. To by znamenalo, že by se červené světlo muselo v kolorimetru odčítat [48, 58].

Tento fakt vedl CIE k zavedení tří imaginárních primárních barev X, Y, Z. To umožnilo transformaci hodnot trichromatických činitelů  $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$  na činitele  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  tak, aby nabývaly pouze kladných hodnot, proto i souřadnice všech reálných barev v systému jsou kladné [48, 52, 58].

Soubor primárních imaginárních barev X, Y, Z má podle CIE následující vlastnosti:

- Je založen na experimentálních údajích [43, 52].
- Primární barvy X, Y, Z se chovají aditivně, stejně jako primární barvy RGB [43, 52].
- Hodnota bodu Y zároveň odpovídá jasu barvy [43, 52].
- Všechny hodnoty všech tří složek jsou kladné [43, 52].

Trichromatické hodnoty X, Y a Z jsou definovány následovně:

$$X = k \sum M_e(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda) \quad \text{Rovnice 12: Výpočet trichromatické hodnoty X [43]}$$

$$Y = k \sum M_e(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda) \quad \text{Rovnice 13: Výpočet trichromatické hodnoty Y [43]}$$

$$Z = k \sum M_e(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda) \quad \text{Rovnice 14: Výpočet trichromatické hodnoty Z [43]}$$

$$k = \frac{100}{\sum M_e(\lambda)\bar{y}(\lambda)} \quad \text{Rovnice 15: Výpočet normalizačního faktoru k [43]}$$

$k$  ... Normalizační faktor

$R(\lambda)$  ... Reflektance

$M_e(\lambda)$ ...Spektrální intenzita vyzařování  
(udává, jak který zdroj vyzařuje,  
na které vlnové délce)

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  ...Trichromatické činitele (vyjadřují  
citlivost 2° nebo 10° pozorovatele)

Tyto rovnice nám v podstatě říkají, jak velkou odezvu v pozorovateli způsobí světlo odražené od objektu [43, 52].

### 1.8.1 xyY chromatický diagram CIE

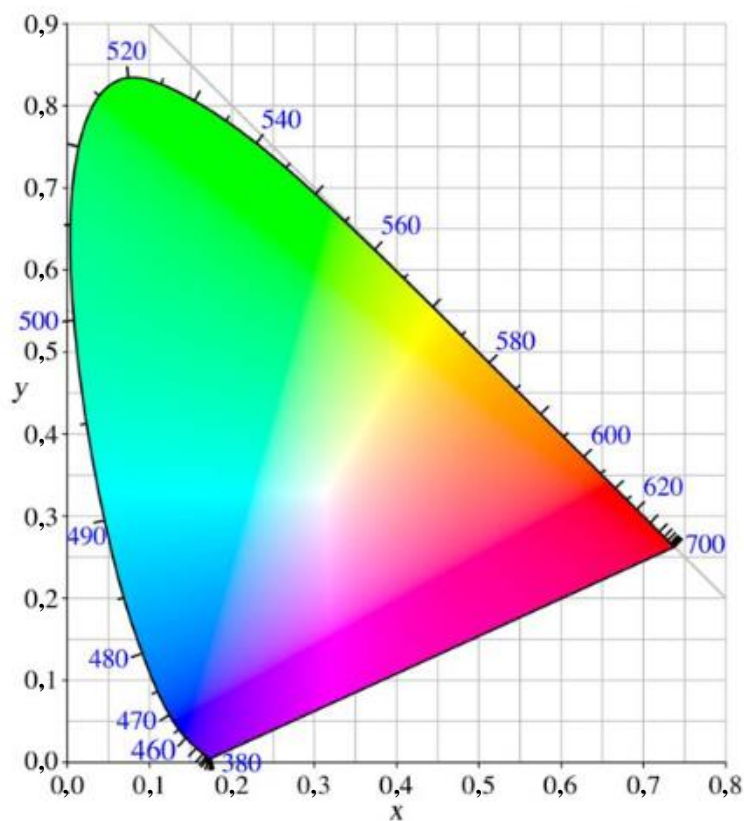
Z barevného prostoru XYZ je odvozen prostor xyY, který je určen především ke grafickému znázornění barev ve dvojrozměrném prostoru nezávisle na sytosti barvy. Hodnota Y představuje světlost nebo jas barvy. Hodnoty x, y jsou chromatické souřadnice barvy a vypočítají se přímo z hodnot X, Y, Z podle rovnice 16 a 17 [48, 52].

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad \text{Rovnice 16: Výpočet chromatické souřadnice barvy (x) [52]}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \text{Rovnice 17: Výpočet chromatické souřadnice barvy (y) [52]}$$

Pro chromatickou souřadnici z platí to samé a z toho pak vyplývá, že  $x + y + z = 1$  [52].

Hodnoty  $x$ ,  $y$ ,  $Y$  lze zobrazit v grafu nazývaném chromatický diagram (graf 5), ten zpřehledňuje komplikovaný systém barev zavedený CIE [52].



Graf 5: Chromatický diagram CIE 1931 [52]

Všechny skutečné barvy (reálné barvy) leží uvnitř plochy, která je v barevné rovině ohraničena křivkou sytých barev. Bodům mimo barevnou plochu neodpovídá žádná reálná barva [52, 58].

## 1.9 CIE L\*a\*b\* BAREVNÝ PROSTOR

Nevýhodou systému CIE XYZ (CIE xyY) je jeho vizuální nerovnoměrnost. To znamená, že vizuálně stejně vnímané barevné rozdíly, jsou v tomto systému znázorněny různě velkými vzdálenostmi. Proto roku 1976 CIE představil nový barevný prostor CIE L\*a\*b\*, jehož hlavní výhodou je to, že umožňuje vypočítat hodnotu, která vyjadřuje, jak jsou dvě dané barvy od sebe navzájem vzdálené. Tato hodnota se označuje jako Euklidovský rozdíl  $\Delta E_{ab}^*$ . Euklidovský rozdíl lze vypočítat podle rovnice 18 [46, 48, 52].

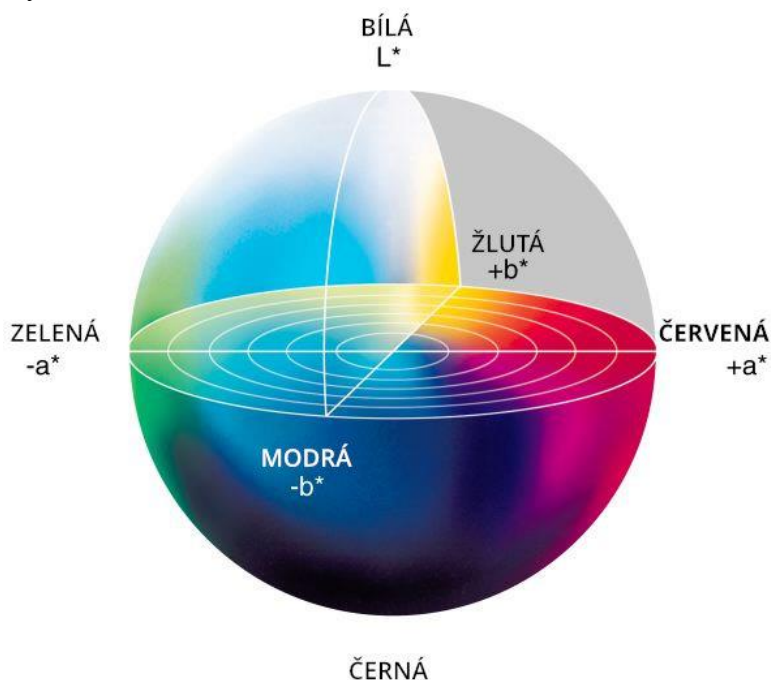
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Rovnice 18: Výpočet Euklidovského rozdílu [43, 52]

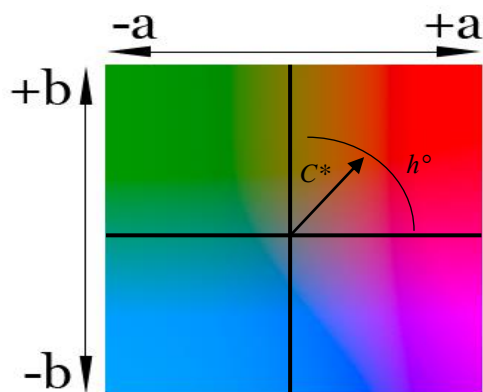
Pomocí této rovnice lze v potravinářství například vypočítat rozdíl v barvě při skladování potravin [46, 48, 52].

Souřadnice  $L^*$  (graficky na ose  $x$ ) definuje světlost od černé do bílé v rovnoměrných stejně velkých krocích, její rozsah je 0 až 100. Souřadnice  $a^*$  (graficky na ose  $y$ ) odpovídá červeno-zelené škále barev a nabývá hodnot od -128 (zelená) do 128 (červená). Souřadnice  $b^*$  (graficky na ose  $z$ ) odpovídá žluto-modré škále a nabývá hodnot stejně jako  $a^*$ , -128 (modrá) až 128 (žlutá). Všem barvám, které je schopen pozorovatel vnímat, je možné přiřadit konkrétní souřadnice v tomto prostoru. Barevný prostor CIE  $L^*a^*b^*$  je znázorněn v grafu 6 [43, 48, 52].

Ze souřadnic  $a^*$  a  $b^*$  lze dále vypočítat měrnou čistotu a měrný odstín. Měrná čistota (Chroma)  $C^*$  vyjadřuje pestrost barev a zvětšuje se se vzdáleností od osy  $L^*$ . Měrný odstín  $h^\circ$  (Hue) je určen úhlem. Schéma barev při poloviční světelnosti a naznačená hodnota  $C^*$  a  $h^\circ$  jsou znázorněny na obr. 25 [43, 48].



Graf 6: Záznam LAB modelu [59]



Obrázek 25: 2D diagram znázorňující rozsah barev při poloviční světelnosti ( $L^* = 50\%$ ) [59]



## 1.10 BAREVNOST V JEDNOTKÁCH EBC

European Brewery Convention (EBC) sehrála svou roli ve vývoji metod pro moderní postupy kontroly kvality v pivovarských, sladovnických a chmelových laboratořích po celém světě. Všechny technické aspekty znalostí vaření piva a vědecký výzkum v pivovarské vědě byly základními kameny činnosti EBC [60].

EBC je také jednotka, pomocí které se udává intenzita barvy piva a mladiny v Evropě. Obdobou EBC je jednotka SMR, pomocí které se vyjadřuje intenzita barvy piva v Americe. Čím je hodnota EBC/SMR vyšší, tím je pivo tmavší. Na obr. 26 jsou seřazena piva od nejsvětlejších, tedy od nejnižší hodnoty EBC až po nejtmaší, tedy po nejvyšší hodnotu EBC [57, 61].

Obě metody jsou založené na absorbanci. Barva EBC se získá odečtením vzorku piva v 1 cm kyvetě ve spektrofotometru při vlnové délce 430 nm a vynásobením získané hodnoty ( $A_{430}$ ) 25. Při této metodě je potřeba zakalený vzorek piva přefiltrovat s použitím 0,45 $\mu$ m filtru. Pokud je pivo i po filtraci stále zakalené, zředí se a do výpočtu se započítá faktor zředění ( $f_z$ ). Výpočet EBC je naznačen v rovnici 19 [57, 61].

$$EBC_{430} = 25 * A_{430} * f_z$$

*Rovnice 19: Výpočet hodnoty EBC [61]*

Světlá piva mají barvu do 5 j EBC, tmavá piva nad 50 j EBC. Pro představu vzorek na obr. 26 nejvíce vlevo má hodnotu EBC 8,7 j a vzorek nejvíce vpravo má hodnotu EBC 144,5 j. [10].



*Obrázek 26: Vzorky piv seřazené od nejsvětlejších po nejtmaší [12]*

## 1.11 SOUVISLOST BARVY PIVA A JEHO SLOŽENÍ

Mezi spotřebiteli je rozšířená myšlenka, že barva piva je spojena s jeho hořkostí, nicméně tomu tak není. Hořkost piva pochází z chmele, zatímco barva piva je závislá převážně na použitém sladovém ječmenu [62].

Jak již bylo zmíněno, rozlišujeme několik druhů sladu, které se používají pro různé typy piv. Pro výrobu světlých piv se používají světlé slady plzeňského typu, pro výrobu polotmavých a tmavých piv se používají směsi světlých sladů plzeňského typu, tmavých sladů mnichovského typu a různé speciální slady, které mají za úkol ještě více zintenzivnit barvu piva [10].

Charakteristické barvy sladu vznikají při hvozdění a jsou dány chemickými reakcemi, katalyzovanými teplotou, zejména Maillardova reakce a karamelizace. Pro světlé slady je charakteristické sušení při teplotě 60 až 80 °C a pro tmavé slady je charakteristická teplota sušení 60 až 105 °C [9, 10, 16, 57].

K tvorbě barvy přispívá i oxidace polyfenolů pocházejících ze slupek ječmenu nebo z chmelu. Tyto reakce probíhají během skladování/zrání piva. Navíc oxidace polyfenolů může vést k tvorbě zákalu, který ovlivňuje spotřebitelské vnímání barvy i její fyzikální měření. Tvorbě zákalu lze předejít použitím stabilizátoru [10].

## 2 CÍL PRÁCE

Najít vztah mezi barevností piva vyjádřeny v jednotkách EBC a CIEL\*a\*b\* v závislosti na různé optické dráze (10 a 50 mm).

Určit, zdali se k měření barevnosti hodí i kyveta o optické dráze 50 mm, imitující sklenici.

## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ A POMŮCKY

Spektrofotometr UltraScan VIS (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) (obr. 27)

Ultrazvuková lázeň Bandelin SONOREX (Schalltec GmbH, Německo) (obr. 28)

Obvyklé laboratorní vybavení



Obrázek 27: Spektrofotometr UltraScan VIS [64]



Obrázek 28: Ultrazvukové lázně Bandelin SONOREX [63]

### 3.2 POUŽITÉ VZORKY PIV

K posouzení barevnosti byla vybrána plechovková piva běžně dostupná v obchodní síti Globus a Lidl. Celkem bylo hodnoceno 24 vzorků nealkoholických i alkoholických piv různé stupňovitosti od různých výrobců. Jednalo se převážně o ležáky, pouze dva zástupci představovali piva svrchně kvašená (vzorek č. 23 a č. 24). Tyto dva vzorky zároveň nebyly ze skupiny světlých piv. V případě vzorku č. 23 se jednalo o zástupce polotmavých piv a v případě vzorku č. 24 se jednalo o zástupce tmavých piv. Veškerá měření byla provedena ihned po zakoupení vzorků. Bližší informace ohledně vzorků viz tabulka 1.

*Tabulka 1: Základní informace o vzorcích*

Číslo vzorku	Název vzorku	Výrobce	Obsah alkoholu [% obj.].
1	Velkopopovický Kozel 10°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,2
2	Argus 10°	Pivovar Platan Protivín	4
3	Staropramen 10°	Pivovar Staropramen	4
4	Gambrinus 10°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,3
5	Radegast 10°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,1
6	Radegast Ratar	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,4
7	Pernštejn Vilém 11°	Pivovar Pardubice	4,8
8	Velkopopovický Kozel 11°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,6
9	Argus 11°	Pivovar Knorad Liberec	4,8
10	Excelent 11°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,7
11	Pilsner Urquell 12°	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,4
12	Argus 12°	Pivovar Platan Protivín	4,8
13	Kozel Mistrův ležák	Plzeňský Prazdroj a.s.	4,8
14	Radegast 12°	Plzeňský Prazdroj a.s.	5,1
15	Gambrinus 12°	Plzeňský Prazdroj a.s.	5,2
16	Perlenbacher Export	Pivovar Frankfurt	5,2
17	Svijany Svijanský vozka tradiční	Pivovar Svijany	< 0,5
18	Svijany Svijanský vozka pasterizovaný	Pivovar Svijany	< 0,5
19	Birell nealko	Plzeňský Prazdroj a.s.	< 0,5
20	Bakalář nealko	Tradiční pivovar v Rakovníku Bakalář	< 0,5
21	Krušovice nealko	Královský pivovar Krušovice	< 0,5
22	Argus strong	Pivovar Knorad Liberec	7,2
23	Steam Brew German Red	Pivovar Privatbrauerei Eichbaum	7,9
24	Steam Brew Imperial Stout	Pivovar Privatbrauerei Eichbaum	7,5

### 3.3 PŘÍPRAVA VZORKU A MĚŘENÍ

Před samotným měřením se každý vzorek vytemperoval na teplotu místnosti, převedl se z transportní plechovky do 400ml kádinky a poté se odstranil oxid uhličitý v ultrazvukové lázni Bandelin SONOREX od firmy Schalltec GmbH (obr. 29). Dostatečná doba pro odstranění oxidu uhličitého byla zvolena na 10 až 15 min.

Pro měření barevného spektra byl použit spektrofotometr UltraScan VIS od firmy HunterLab s integrační koulí  $d/8^\circ$  a standardizovaným osvětlením D65.

Před měřením je potřeba přístroj kalibrovat. Kalibrace se provádí nejdříve na černou barvu umístěním černé destičky do přístroje. Poté se provede kalibrace na slepý vzorek v kyvetě. Jako slepý vzorek byla zvolena destilovaná voda. Po kalibraci lze zahájit samotné měření vzorků.

Vzorky byly měřeny postupně v kyvetách o délkách optické dráhy 10 mm a 50 mm. Při přechodu na delší optickou dráhu bylo nutné provést novou kalibraci a naopak. Kyveta o vyšší tloušťce byla zvolena záměrně pro imitaci piva ve sklenici, tedy tak, jak ho vidí spotřebitel.

U všech vzorků byly naměřeny hodnoty barevnosti  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  a EBC, a to jak v 10mm, tak v 50mm kyvetě. Naměřené hodnoty EBC pro 50mm kyvetu nebyly zahrnuty, neboť oficiální jednotky EBC vychází pouze z měření v 10mm kyvetě, proto i do výpočtů a grafů pro 50mm kyvetu byly zahrnuty hodnoty EBC z 10mm kyvetu. Naměřená data byla vložena do programu Microsoft Office Excel. Veškerá naměřená data pro 10mm kyvetu jsou k vidění v tabulce č. 2, v tabulce č. 3 jsou pak data pro 50mm kyvetu.

Dále byly měřeny hodnoty transmitance pro všechny vzorky v celém rozsahu viditelného světla, tedy od 360 do 780 nm, a to jak v 10 mm kyvetě, tak v 50mm kyvetě. Data byla opět zpracována v programu Microsoft Office Excel. Data z tohoto měření k dispozici v příloze 1 a 2.



Obrázek 29: Vzorky po odplynění v ultrazvukové lázni [12]

### 3.3.1 Naměřená data pro 10mm kyvetu

Z naměřených hodnot pro  $L^*$  a EBC v tabulce č. 2 na další straně je patrné, že se jedná o piva převážně světlá. Pro světlá piva je charakteristická nízká hodnota EBC a vysoká světlost, tedy vysoká hodnota  $L^*$ . Tomu se vymyká vzorek č. 23, kde se jedná o pivo polotmavé a vzorek č. 24, který je ze skupiny tmavých piv.

Hodnoty  $b^*$  indikovaly u všech vzorků žlutý odstín ( $b^* > 0$ ) a hodnoty  $a^*$  indikovaly u většiny vzorků zelený odstín ( $a^* < 0$ ). Výjimkou byly vzorky č. 12, 18, 20, 23 a 24, kde naměřené hodnoty  $a^*$  jsou kladné a výsledný vzorek má tedy červený odstín. Hodnoty  $a^*$  pro vzorek č. 23 ze skupiny polotmavých piv a pro vzorek č. 24 ze skupiny tmavých piv jsou dokonce výrazně vyšší ve srovnání s ostatními vzorky.

Hodnota  $C^*$  vyjadřující pestrost (čistotu) barvy se pro všechny vzorky pohybuje v rozmezí 25 až 65.

Měrný úhel, tedy hodnota  $h^\circ$ , se pohybuje pro většinu vzorků kolem hodnoty  $90^\circ$ , výjimkou jsou opět vzorky č. 23 a 24, kde je svíraný úhel s osou  $a^*$  nižší a výsledná barva vzorku má výraznější červený odstín.

Tabulka 2: Naměřené hodnoty  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  a EBC pro 10mm kyvetu

Vzorek č.	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^\circ$	EBC
1	93,93	-1,50	25,56	25,60	93,35	8,69
2	93,49	-1,50	28,77	28,81	92,98	9,74
3	92,84	-1,20	30,26	30,29	92,28	10,43
4	92,20	-0,80	30,54	30,55	91,50	10,84
5	91,33	-0,29	29,75	29,75	90,56	10,91
6	91,17	-0,61	38,05	38,05	90,92	13,89
7	93,31	-1,52	32,07	32,10	92,71	10,80
8	93,60	-1,55	27,83	27,88	93,18	9,54
9	93,02	-1,48	32,02	32,06	92,65	11,02
10	91,42	-0,67	36,62	36,63	91,05	13,23
11	93,26	-1,74	33,61	33,66	92,97	11,55
12	92,46	-1,37	35,46	35,48	92,21	12,41
13	91,69	-0,84	34,97	34,98	91,38	12,54
14	90,46	-0,01	34,93	34,93	90,02	12,95
15	90,62	-0,25	37,89	37,89	90,38	13,91
16	91,94	-0,95	38,00	38,01	91,43	13,50
17	91,64	0,17	25,99	25,99	89,63	9,59
18	90,93	0,23	28,73	28,73	89,55	10,76
19	91,58	-0,38	29,83	29,84	90,73	10,91
20	90,24	0,14	35,76	35,76	89,77	13,53
21	90,58	-0,21	40,53	40,53	90,29	15,01
22	90,41	-0,23	34,39	34,39	90,39	12,98
23	73,23	11,22	59,32	60,37	79,29	32,74
24	22,92	32,83	39,21	51,14	50,06	144,52

### 3.3.2 Naměřená data pro 50mm kyvetu

Naměřené hodnoty  $L^*$  pro 50mm kyvetu uvedené v tabulce 3 na další straně jsou v porovnání s hodnotami z 10 mm kyvety pro jednotlivé vzorky nižší. Z toho vyplývá, že barva v 50mm kyvetě se jeví jako tmavší. Pro vzorek č. 24 je dokonce hodnota  $L^*$  tak nízká, že se blíží 0 a vzorek se jeví jako téměř černý.

Naměřené hodnoty  $a^*$ ,  $b^*$  a  $C^*$  pro 50mm kyvetu jsou v porovnání s 10mm kyvetou pro všechny vzorky vyšší. Výjimkou jsou vzorky č. 23 a č. 24, kde jsou naměřené hodnoty v porovnání s 10mm kyvetou nižší, u vzorku č. 24 se téměř blíží nule.

Hodnoty  $a^*$  nenabývají záporných hodnot, proto má výsledná barva vzorku v 50mm kyvetě červený odstín, nikoli zelený, jak tomu bylo u většiny vzorků v 10mm kyvetě.

Vyšší hodnoty  $b^*$  značí výraznější odstín žluté barvy a vyšší hodnoty  $C^*$  značí vyšší pestrost barvy oproti hodnotám z 10mm kyvety.

Nižší měrný úhel značí červenější odstín výsledné barvy vzorku. Bylo by zajímavé tyto výsledky dát do vztahu se senzoricou analýzou. Jestli by konzumenti opravdu vnímali výslednou barvu jako více červenou nebo zelenou.



Tabulka 3: Naměřené hodnoty  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  a EBC pro 50mm kyvetu

Vzorek č.	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^\circ$
1	74,66	13,32	74,94	76,12	79,92
2	73,35	15,57	80,3	81,8	79,03
3	71,32	17,55	81,59	83,45	77,86
4	69,19	18,9	80,27	82,47	76,75
5	65,97	19,6	76,58	79,05	75,64
6	66,73	24,08	88,39	91,61	74,76
7	73,93	17,61	86,52	88,29	78,49
8	74,13	14,87	78,68	80,07	79,3
9	71,53	18,14	84,05	85,98	77,82
10	67,55	22,9	87,49	90,44	75,33
11	73,51	18,51	87,64	89,57	78,08
12	70,23	20,6	88,04	90,42	76,83
13	66,42	21,43	84,24	86,93	75,73
14	63,77	23,28	82,55	85,77	74,25
15	64,87	24,34	86,8	90,15	74,33
16	69,15	23,43	90,54	93,52	75,49
17	67,4	18,21	71,73	74,01	75,76
18	65,44	20,07	74,86	77,5	74,99
19	67,95	19,35	77,96	80,32	76,06
20	64	23,97	83,23	86,61	73,93
21	66,58	25,79	91,24	94,81	74,22
22	63,04	22,77	80,66	83,81	74,24
23	23,7	33,83	40,6	52,85	50,19
24	0,05	0,13	0,05	0,14	22,94

## 4 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

### 4.1 Závislost hodnot $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C^*$ a $h^\circ$ na hodnotě EBC

Pro vyhodnocení naměřených dat a určení míry závislosti EBC na jednotlivých naměřených hodnotách  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  a  $h^\circ$  je potřeba sestrojít grafy závislostí a vypočítat korelační koeficienty. Grafy byly sestrojeny v programu Microsoft Office Excel, hodnoty korelačních koeficientů byly vypočteny v programu Statistica (v. 9, Tibco, USA). Vypočtená data pro 10mm kyvetu jsou k vidění v tabulce 4, pro 50mm kyvetu v tabulce 5.

Do grafů a výpočtů korelačních koeficientů byly zahrnuty pouze vzorky č. 1 až 22. Vzorky č. 23 a č. 24 mají výrazně odlišné naměřené hodnoty a v této práci mají spíše charakter informativní a srovnávací. Lze si díky nim lépe představit, jak moc se liší barva světlých piv od polotmavých, případně tmavých.

*Tabulka 4: Hodnoty korelačních faktorů a významnost korelace pro 10mm kyvetu*

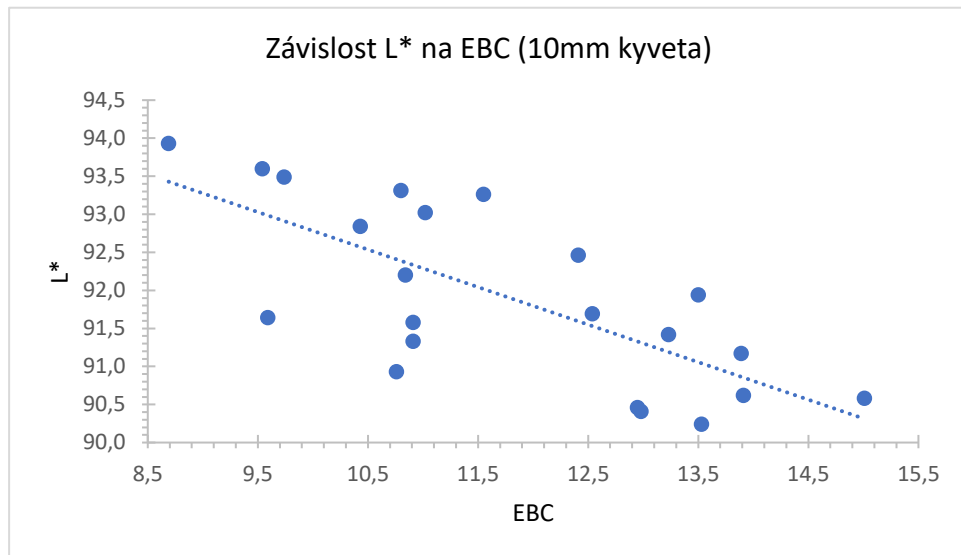
	Počet vzorků zohledněných ve výpočtu	Spearmanova korelace ( $r_s$ )	p-hodoty
$L^*$ & EBC	22	-0,699	$p < 0,001$
$a^*$ & EBC	22	0,385	0,077
$b^*$ & EBC	22	0,951	$p < 0,001$
$C^*$ & EBC	22	0,951	$p < 0,001$
$h^\circ$ & EBC	22	-0,463	0,03

*Tabulka 5: Hodnoty korelačních faktorů a významnost korelace pro 50mm kyvetu*

	Počet vzorků zohledněných ve výpočtu	Spearmanova korelace ( $r_s$ )	p-hodoty
$L^*$ & EBC	22	-0,608	0,003
$a^*$ & EBC	22	0,939	$p < 0,001$
$b^*$ & EBC	22	0,762	$p < 0,001$
$C^*$ & EBC	22	0,823	$p < 0,001$
$h^\circ$ & EBC	22	-0,795	$p < 0,001$

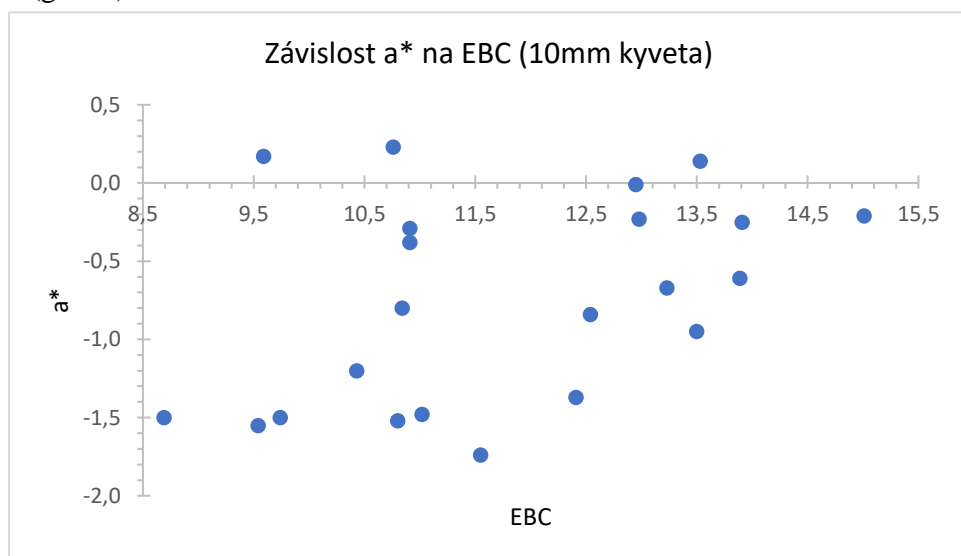
### Vyhodnocení hodnot pro 10mm kyvetu

Z dat uvedených v tabulce 4 je patrné, že korelace hodnoty  $L^*$  & EBC pro 10mm kyvetu je významná, neboť p-hodnota určující významnost korelace je nižší než 0,05. Korelační koeficient v tomto případě nabývá záporných hodnot. To znamená, že se musí jednat o klesající lineární závislost. Toto zjištění lze ověřit graficky pomocí závislosti  $L^*$  na EBC uvedené v grafu 7. Lze tedy tvrdit, že hodnoty  $L^*$  a EBC spolu souvisí (koreluje) v tom smyslu, že čím vyšší je hodnota EBC, tím nižší je hodnota  $L^*$  a naopak.



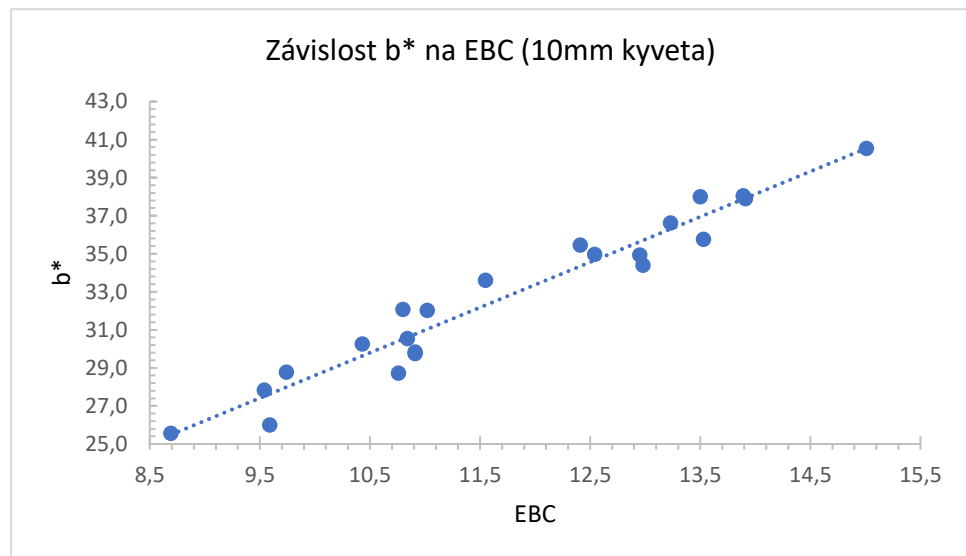
Graf 7: Závislost  $L^*$  na EBC pro 10mm kyvetu

Z korelačního koeficientu hodnot  $a^*$  & EBC uvedených v tabulce 4 lze usuzovat, že tyto dvě hodnoty navzájem výrazně nekoreluje. P-hodnota je vyšší než 0,05. Lze tedy tvrdit, že se nejedná o lineární závislost. To lze opět potvrdit graficky pomocí grafu závislosti  $a^*$  na EBC (graf 8).

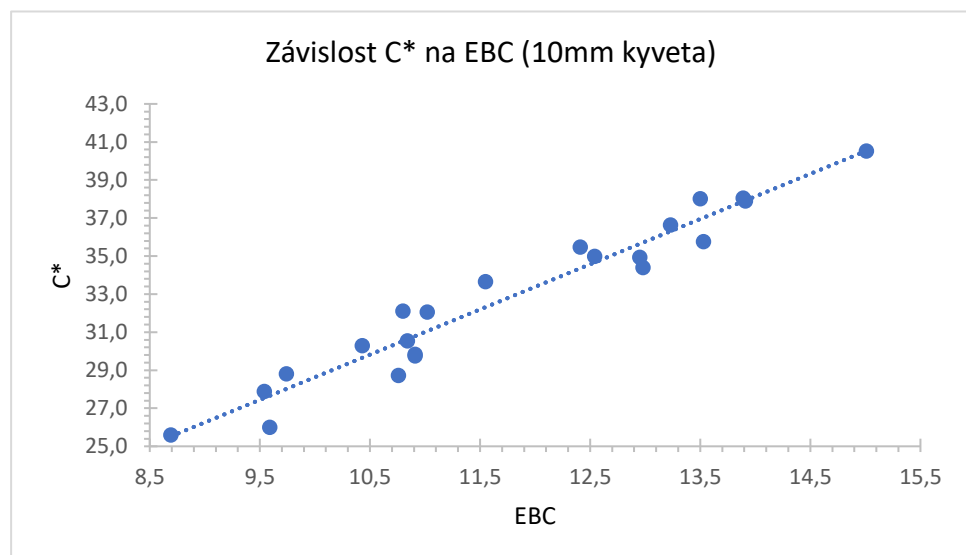


Graf 8: Závislosti  $a^*$  na EBC pro 10mm kyvetu

Pro hodnoty korelačních koeficientů hodnot  $b^*$  & EBC a  $C^*$  & EBC uvedených v tabulce 4 platí, že se blíží jedné a p-hodnoty jsou prakticky nulové. To znamená, že je mezi jednotlivými hodnotami velmi výrazná korelace. Jednotlivé hodnoty spolu souvisí a jelikož v obou případech koeficient korelace nabývá kladných hodnot, jedná se o lineárně rostoucí závislost. Tedy čím vyšší hodnota EBC, tím vyšší hodnota  $b^*$  a naopak. Dále čím vyšší hodnota EBC, tím vyšší hodnota  $C^*$  a naopak. Toto tvrzení lze opět ověřit graficky pomocí závislosti  $b^*$  na EBC a  $C^*$  na EBC, které jsou znázorněné v grafu 9 a 10.

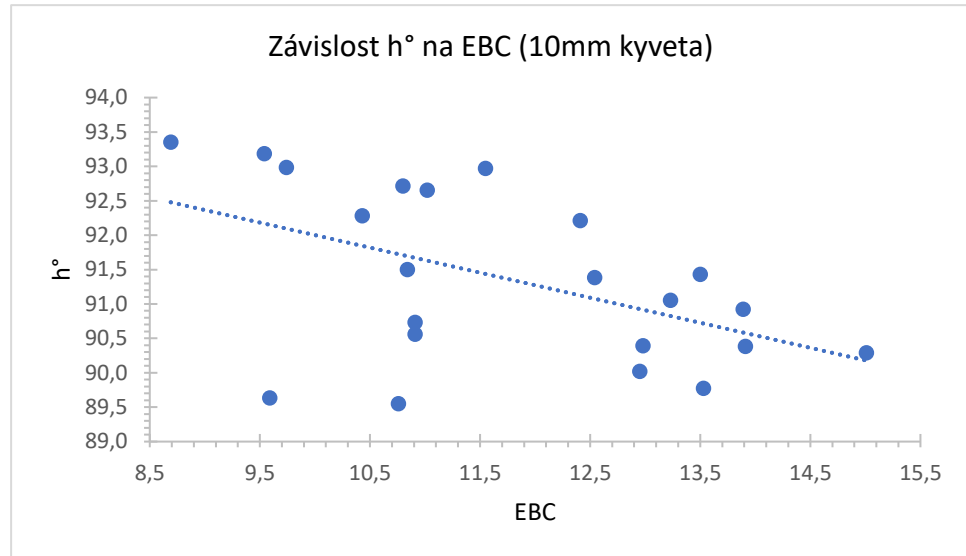


Graf 9: Závislosti  $b^*$  na EBC pro 10mm kyvetu



Graf 10: Závislost  $C^*$  na EBC pro 10mm kyvetu

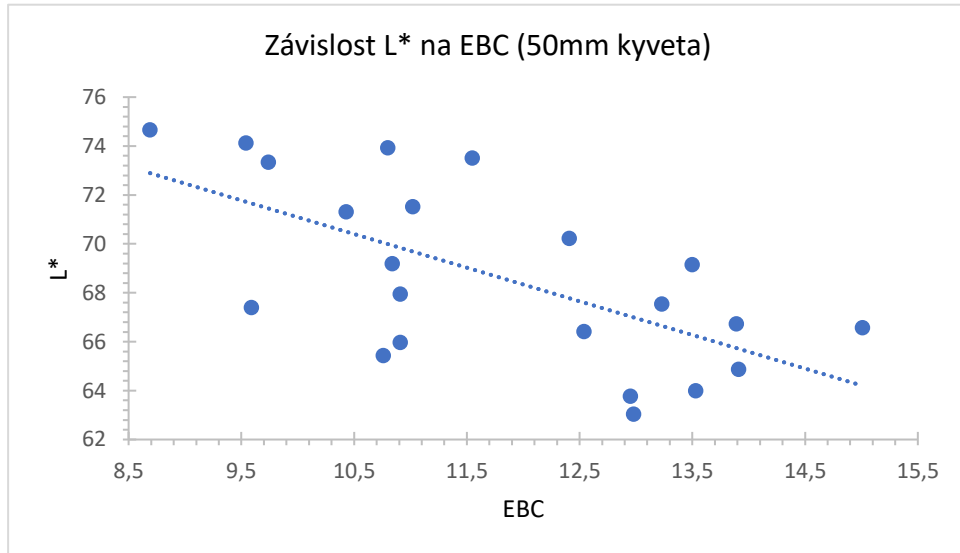
Korelační koeficient hodnot  $h^\circ$  & EBC uvedený v tabulce 4 má zápornou hodnotu a p-hodnota je nižší než 0,05. Z toho vyplývá, že hodnoty  $h^\circ$  a EBC spolu souvisí a jedná se o lineárně klesající závislost. Tedy čím vyšší hodnota EBC, tím nižší hodnota  $h^\circ$ . Ověřeno opět graficky pomocí grafu závislosti  $h^\circ$  na EBC (graf 11).



Graf 11: Závislost  $h^\circ$  na EBC pro 10mm kyvetu

### Vyhodnocení hodnot pro 50mm kyvetu

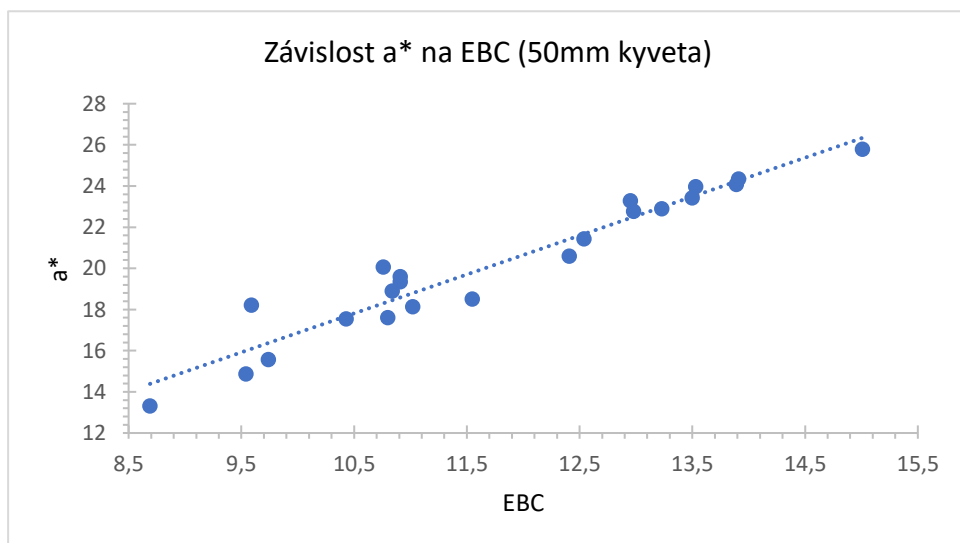
Z dat uvedených v tabulce 5 je patrné, že i korelace hodnot  $L^*$  & EBC pro 50mm kyvetu je významná, neboť p-hodnota je nižší než 0,05. Nicméně oproti korelaci těch samých hodnot pro 10mm kyvetu nabývá korelační koeficient nižší záporné hodnoty. To znamená, že korelace pro 50mm kyvetu není tak výrazná. Grafem je lineárně klesající závislost znázorněná v grafu 12.



Graf 12: Závislosti  $L^*$  na EBC pro 50mm kyvetu

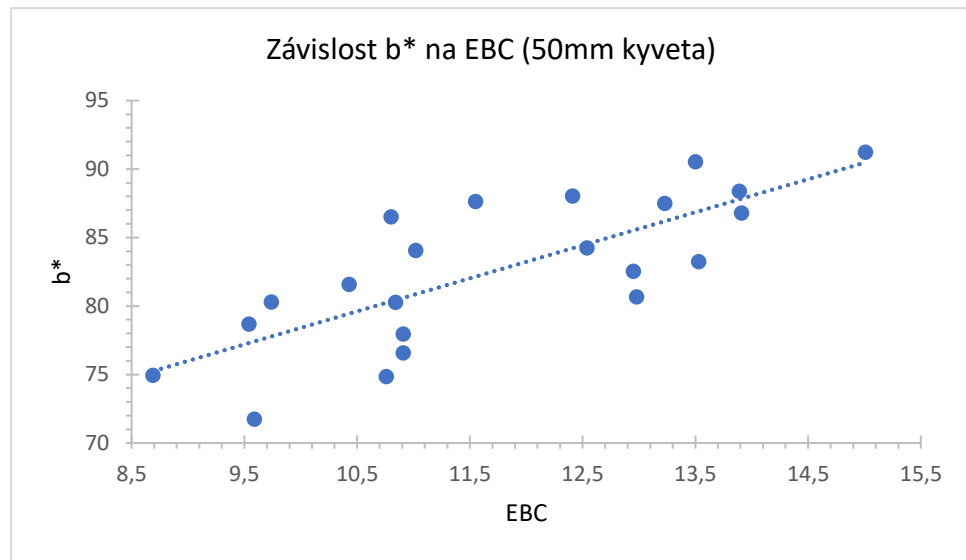
Z hodnoty korelace mezi  $a^*$  & EBC pro 50mm kyvetu uvedené v tabulce 5 je jasně patrný rozdíl oproti hodnotě korelace  $a^*$  & EBC pro 10mm kyvetu.

Korelační koeficient pro 50mm kyvetu se blíží jedné a p-hodnota je nulová. Jedná se tedy o velmi výraznou korelaci oproti 10mm kyvetě, kde spolu jednotlivé hodnoty nekorelují. Grafem je lineárně rostoucí závislost znázorněná v grafu 13, tedy čím vyšší hodnota EBC, tím vyšší hodnota  $a^*$  a naopak.

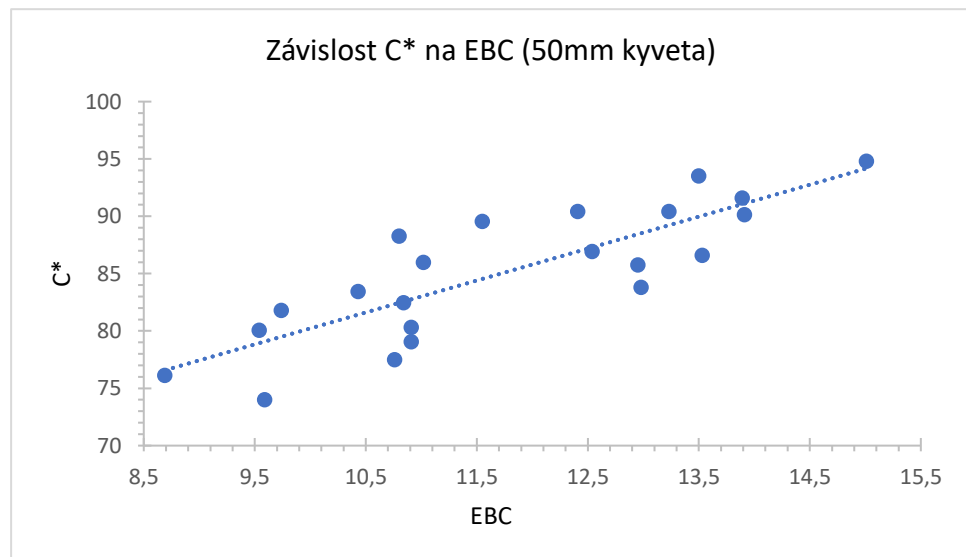


Graf 13: Závislosti  $a^*$  na EBC pro 50mm kyvetu

Pro hodnoty korelačního koeficientu hodnot  $b^*$  & EBC a  $C^*$  & EBC pro 50mm kyvetu uvedené v tabulce 5 platí, že v obou případech se blíží více nule oproti hodnotám pro 10mm kyvetu. Jejich korelace je tedy méně výrazná, nicméně je stále dost významná, neboť p-hodnota se v obou případech blíží téměř nule. Grafem jak  $b^*$  na EBC, tak  $C^*$  na EBC je lineárně rostoucí závislost. Tedy čím vyšší hodnota EBC, tím vyšší hodnota  $b^*$  a naopak. Dále čím vyšší hodnota EBC, tím vyšší hodnota  $C^*$  a naopak. Závislosti těchto hodnot jsou znázorněny v grafu 14 a 15.

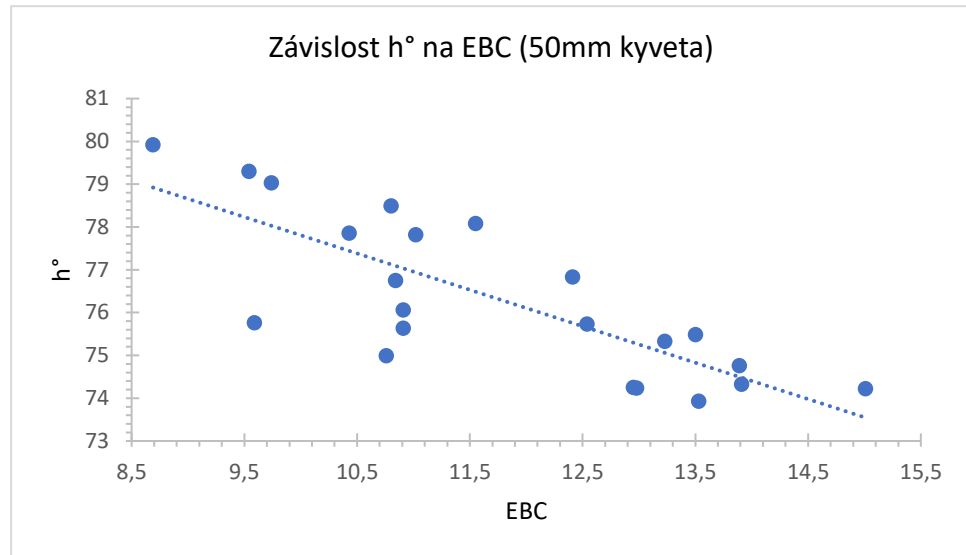


Graf 14: Závislosti  $b^*$  na EBC pro 50mm kyvetu



Graf 15: Závislosti  $C^*$  na EBC pro 50mm kyvetu

Pro korelaci hodnot  $h^\circ$  & EBC pro 50mm kyvetu platí, že je výraznější, než korelace těch samých hodnot pro 10mm kyvetu, neboť korelační koeficient pro 50mm kyvetu, uvedený v tabulce 5, se blíží více hodnotě mínus jedné a p-hodnota se blíží téměř nule. Koeficient je záporný, proto výsledná závislost bude lineárně klesající. Tedy čím vyšší hodnota EBC, tím nižší hodnota  $h^\circ$  a naopak. Závislost je možné vidět v grafu 16.



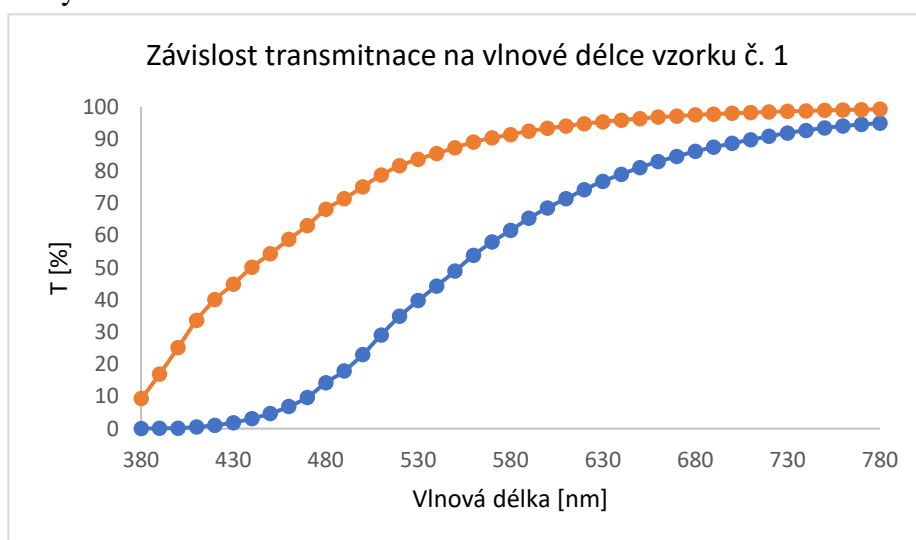
Graf 16: Závislosti  $h^\circ$  na EBC pro 50mm kyvetu



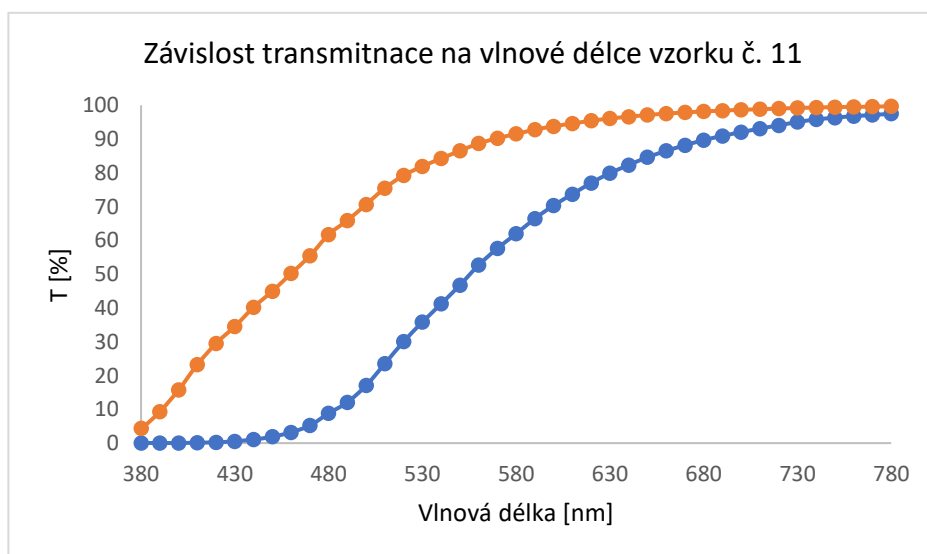
## 4.2 Závislost transmitance na vlnové délce

Pro vyhodnocení byly vybrány vzorky č. 1 a č. 11 ze skupiny světlých piv, vzorek č. 23 ze skupiny polotmavých piv a vzorek č. 24 ze skupiny tmavých piv. Byly sestrojeny grafy závislostí transmitance na vlnové délce, a to jak pro 10mm kyvetu, tak pro 50mm kyvetu. Data pro sestrojení grafů jsou uvedena v příloze 1 a 2.

Závislostí transmitance na vlnové délce vzorku č. 1 a č. 11 pro 10mm i 50mm kyvetu jsou znázorněny v grafu 17 a 18. Z grafů vyplývá, že transmitance v 50mm kyvetě je při všech vlnových délkách nižší oproti transmitanci v 10mm kyvetě, nicméně množství prošlého světla a rozsah vlnových délek, kdy světlo projde vzorkem, je dostačující k měření barevnosti světlých piv i pro 50mm kyvetu.

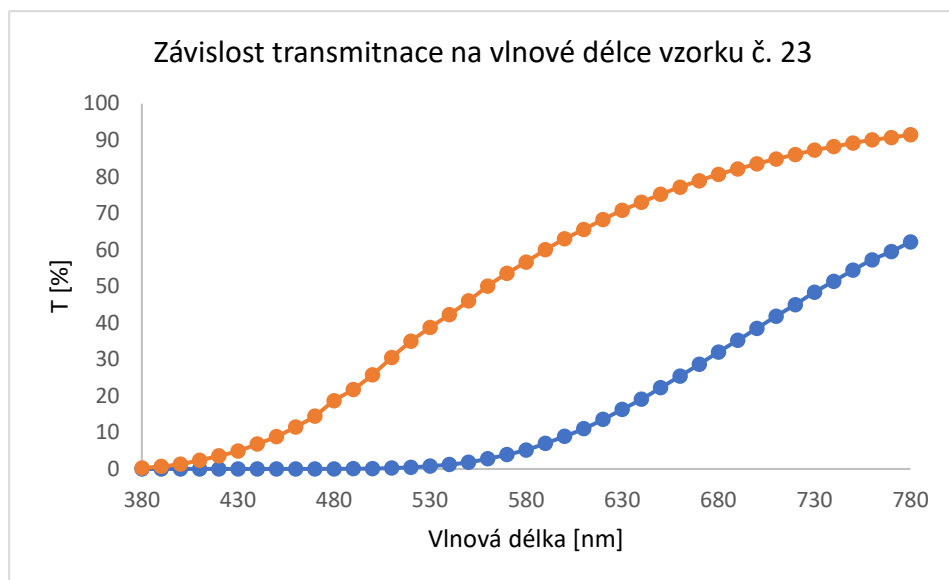


Graf 17: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 1



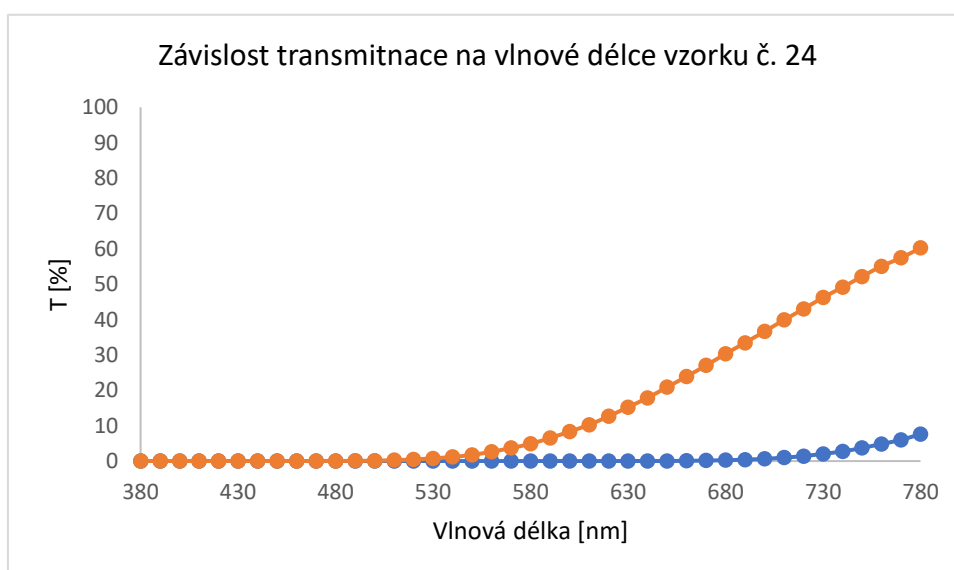
Graf 18: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 11

Závislost transmitance na vlnové délce vzorku č. 23, patřícího do skupiny polotmavých piv, je znázorněna v grafu 19. Ze závislosti pro 50mm kyvetu je patrné, že vzorek již nepropouští světlo určitých vlnových délek (přibližně v rozmezí 380 až 500 nm), nicméně množství prošlého světla a rozsah vlnových délek, kdy světlo projde vzorkem, je stále dostačující k měření barevnosti polotmavých piv i pro 50mm kyvetu.



Graf 19: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 23

Závislost transmitance na vlnové délce vzorku č. 24, patřícího do skupiny tmavých piv, je znázorněna v grafu 20. Ze závislosti pro 50mm kyvetu je patrné, že vzorek již nepropouští, nebo velmi špatně propouští viditelné světlo většiny vlnových délek. Znamená to tedy, že tento vzorek není vhodný pro měření barevnosti v 50mm kyvetě.



Graf 20: Závislost transmitance na vlnové délce pro 10mm kyvetu (oranžová křivka) a pro 50mm kyvetu (modrá křivka) vzorku č. 24

## 5 ZÁVĚR

Cílem experimentální části bylo najít vztah mezi barevností piva vyjádřeném v jednotkách EBC a CIEL\*a\*b\* v závislosti na různé optické dráze (10 a 50 mm) a určit, zdali se k měření barevnosti hodí i kyveta o optické dráze 50 mm, imitující sklenici.

Pro zvolený počet vzorků světlých piv typu ležák došlo ke zjištění, že pro 50mm kyvetu se zhorší korelace mezi  $L^*$  & EBC,  $b^*$  & EBC a  $C^*$  & EBC, zatímco u korelace  $h^\circ$  & EBC a  $a^*$  & EBC dojde ke zlepšení.

Při proměřování transmittance došlo ke zjištění, že pro měření barevnosti vzorků světlých a polotmavých piv na základě průchodu viditelného záření je možné využít i 50mm kyvetu, jelikož vzorek stále propouští dostatečné množství viditelného záření. Oproti tomu pro měření barevnosti vzorků tmavých piv již 50mm kyveta není vhodná, protože propouští minimum viditelného záření.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MEZEROVÁ M., *Pivo, Jak poznáme kvalitu?*, Praha: Sdružení českých spotřebitelů, z.ú., 2017, ročník 22, ISBN 9788087719565.
- [2] CHLÁDEK L., *Pivovarnictví, Řemesla, tradice, technika*, Praha: Grada, 2007, ISBN: 9788024716169.
- [3] FORBELSKÁ M., KOLÁČEK J., *Pravděpodobnost a statistika I*. Brno: Masarykova univerzita, 2013, 1. vydání, ISBN: 9788021067103, ISSN: 1802128X. Dostupné z: <http://is.muni.cz/elportal/?id=1130308>
- [4] *Vyhláška č. 248/2018 Sb., o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí § 16, Vymezení některých pojmů*, Ministerstvo zemědělství, 2009-2022. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/legislativa/tematicke-prehledy-pravnich-predpisu-mze/103402516.html>
- [5] *Vyhláška č. 248/2018 Sb., o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí § 18, Označení*, Ministerstvo zemědělství, 2009-2022. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/legislativa/tematicke-prehledy-pravnich-predpisu-mze/103402518.html>
- [6] *Vyhláška č. 248/2018 Sb., část čtvrtá, pivo a nápoje na bázi piva*, *Zákony pro lidi*, Sběrka zákonů, 2010-2022. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-248#cast4>
- [7] MULDER C. J., *Malts and malting*, In Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, (Ed.), 2005, ročník 15. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471238961.1301122004151403.a01.pub2>
- [8] LEWIS M., *Beer and Brewing*, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc (Ed.), 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471238961.0205051814091919.a01.pub3>
- [9] NOVOTNÝ P., *Pivařka?: průvodce domácího sládky: teorie, rady, návody, recepty*, Brno: Jota, 2019, ISBN 9788075655554.
- [10] BASAŘOVÁ G., *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, ISBN 9788070807347.
- [11] BUIATTI S., *20 - Beer Composition: An Overview*, Beer in health and disease prevention, Victor R. Preedy, London UK, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00020-1>
- [12] ŽELIZŇAK V. (autor práce), *foto*
- [13] KADLEC P., *Technologie potravin II*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002, ISBN 8070805102.
- [14] GUPTA M., ABU-GHANNAM N., GALLAGHAR E., *Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products*, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010, ročník 9, číslo 3. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>
- [15] ZAVŘELOVÁ M., *The composition of barley grain in regards to food technology*, Kvasný průmysl, 2014, ročník 60, číslo 5. DOI: <https://doi.org/10.18832/kp2014013>

- [16] KADLEC P., MELZOCH K. a VOLDŘICH M., *Co byste měli vědět o výrobě potravin?, technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2009, ISBN: 9788074180514.
- [17] AN YQ., LIN L., *Transcriptional regulatory programs underlying barley germination and regulatory functions of gibberellin and abscisic acid*, BMC Plant Biology, 2011, ročník 11, číslo 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-105>
- [18] EßLINGER H. M., NARZIß L., *Beer*, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.), 2009, ročník 5. DOI: [https://doi.org/10.1002/14356007.a03\\_421.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a03_421.pub2)
- [19] DANERI-CASTRO S. N., SVENSSON B., ROBERTS T. H., *Barley germination: spatio-temporal considerations for designing and interpreting 'omics' experiments*, Journal of Cereal Science, 2016, ročník 70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.012>
- [20] CEJPEK K., *Vonné a chuťové složky sladů*, Chemické Listy, 2014, ročník 108, číslo 5, ISSN: 12137103. Dostupné z: <http://chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/498>
- [21] VITÁSEK P., *Chmel otáčivý*, webové stránky prirodopis.eu, 2006-2022. Dostupné z: [https://www.prirodopis.eu/mobil/soubory/chmel\\_otacivy.htm](https://www.prirodopis.eu/mobil/soubory/chmel_otacivy.htm)
- [22] NÁDASKÝ P., ŠMOGROVIČOVÁ D., *Senzorická stabilita piva*, Chemické listy, Praha: Česká společnost chemická, 2010, ročník 104, číslo 9, ISSN: 12137103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1254/1254>
- [23] LODOLO E. J., KOCK J. L. F., AXCELL B. C., BROOKS M., *The yeast Saccharomyces cerevisiae – the main character in beer brewing*, FEMS Yeast Research, 2008, ročník 8, číslo 7, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x>
- [24] MURTEY D. M., RAMASAMY P., *Saccharomyces cerevisiae*, webové stránky wikipedia.org, 2016, Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Saccharomyces\\_cerevisiae#/media/File:Saccharomyces\\_cerevisiae\\_SEM.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Saccharomyces_cerevisiae#/media/File:Saccharomyces_cerevisiae_SEM.jpg)
- [25] ENGE J., ŠEMÍK P., KORBEL J., ŠROGL J., SEKORA ISSN M., *Technologické aspekty infuzních a dekokčních způsobů rmutování*, Kvasný průmysl, 2005, ročník 51, číslo 5, ISSN: 00235830. Dostupné z: <http://themodernbrewhouse.com/wp-content/uploads/2016/11/TECHNOLOGICAL-ASPECTS-OF-INFUSION-AND-DECOCTION-MASHING.pdf>
- [26] *Rmutování*, Blog domácího pivovárku Diversity, 2015. Dostupné z: <http://diversity-pivo.blogspot.com/2015/12/proces-1-dil-rmutovani.html>
- [27] *Deskové rozebíratelné výměníky s těsněním*, webové stránky tenez.cz. Dostupné z: <https://www.tenez.cz/produkty/rozebiratelne-vyemeniky>
- [28] *CK tanky*, webové stránky gftechnologic.com. Dostupné z: [http://www.gftechnologic.com/home\\_page/nabidka/ck-tanky/](http://www.gftechnologic.com/home_page/nabidka/ck-tanky/)

- [29] PATERNOSTER A., CAMP J. V., VANLANDUIT S., WEEREN A., SPRINGAEL J., BREAT J., *The performance of beer packaging: vibration damping and thermal insulation*, Food Packaging and Shelf Life, 2017, ročník 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.01.004>
- [30] KELLNER V., *Pivo, vitamíny a další důležité látky pro výživu a zdraví člověka*, Pivovarský ústav Praha, VÚPS, a. s., 2005
- [31] KELLNER V., ČEJKA P., ČULÍK J., HORÁK T., JURKOVÁ M., *Pozitivní přínosy piva ke zdraví spotřebitele*, Kvasný průmysl, 2002, ročník 48, číslo 9, ISSN: 00235830. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2002/09/02.pdf>
- [32] ČEPIČKA J., KARABÍN M., *Polyfenolové látky piva: přirozené antioxidanty*, Chemické listy, 2002, ročník 96, číslo 2, ISSN: 12137103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2346/2346>
- [33] OLŠOVSKÁ J., MATOULKOVÁ D., ČEJKA P., LURKOVÁ M., *Beer and health*, Kvasný Průmysl, 2014, ročník 60, číslo 7, ISSN: 00235830. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2014/07/01.pdf>
- [34] JURKOVÁ M., OLŠOVSKÁ J., ČEJKA P., *Determination of sugars and saccharides in beer*, Kvasný průmysl, 2018, ročník 64, číslo 2, DOI: <https://doi.org/10.18832/kp201812>
- [35] JURKOVÁ M., ČEJKA P., ŠTĚRBA K., OLŠOVÁ J., *Determination of total carbohydrate content in beer using its pre-column enzymatic cleavage and HPLC-RI*, Food Analytical Methods, 2014, ročník 7, číslo 8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9805-y>
- [36] KOTLÍKOVÁ B., JELÍNEK L., KARABÍN M., DOSTÁLEK P., *Prekurzory a vznik koloidního zákalu piva*, Chemické Listy, 2013, ročník 107, číslo 5, ISSN: 12137103. Dostupné z: <http://w.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/693>
- [37] DIENTSTBIER M., JANKOVÁ L., SLADKÝ P., DOSTÁLEK P., *Metody předpovědi koloidní stability piva*, Chemické Listy, 2010, ročník 104, ISSN: 12137103. Dostupné z: [http://ww.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_02\\_86-92.pdf](http://ww.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_02_86-92.pdf)
- [38] SOHRABVANDI S., MORTAZAVIAN A. M., REZAEI K., *Health-related aspects of beer: a review*, International Journal of Food Properties, 2012, ročník 15, číslo 2. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.487627>
- [39] BAMFORTH Ch. W., *Nutritional aspects of beer— a review*, Nutrition Research, 2002, ročník 22, číslo 1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(01\)00360-8](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(01)00360-8)
- [40] OLADOKUN O., JAMES S., COWLEY T., DEHRMANN F., SMART K., HORT J., COOK D., *Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma*, Food Chemistry, 2017, ročník 230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.031>
- [41] HOPPU U., PUPUTTI S., AISALA H., LAAKSONEN O., SANDELL M., *Individual differences in the perception of color solutions*, Foods, 2018, ročník 7, číslo 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7090154>

- [42] CARVALHO F. R., MOORS P., WAGEMANS J., SPENCE C., *The influence of color on the consumer's experience of beer*, *Frontiers in Psychology*, 2017, ročník 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02205>
- [43] PANÁK O., *Měření barevnosti*. Studijní materiál, 2015. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/merenibarevnosti.pdf>
- [44] DANNHOFFEROVÁ J., *Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry*, Computer Press, Brno, Czech Republic, 2012, ISBN: 9788025137857. Dostupné z: <https://static.artforum.sk/media/products-files/3b/b3/129793-DB65121.pdf>
- [45] KADLEC K., KMÍNEK M., KADLEC P., *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů. Díl I., Provozní měření*, Key Publishing, Ostrava, 2017, ISBN: 9788074182839.
- [46] SÝKORA V., ŠUSTOVÁ K., *Barevná spektrofotometrie v mlékárenství*, *Mlékařské listy* 154, 2016, ročník 27, číslo 1, ISSN: 1212950X. Dostupné z: [http://www.mlekarskelisty.cz/upload/soubory/pdf/2016/154-155/veda\\_154\\_4-7.pdf](http://www.mlekarskelisty.cz/upload/soubory/pdf/2016/154-155/veda_154_4-7.pdf)
- [47] POPELKOVÁ A., *Kolorimetrie*, SERVIS CENTRUM, 2016. Dostupné z: <http://www.sc-brno.cz/blog/kolorometrie>
- [48] VIK M., *Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi*, Liberec: VÚTS, 2015, ISBN: 9788087184646.
- [49] GRINGER, *Zobrazení barevného spektra*, webové stránky wikipedia.org, 2008. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A9\\_spektrum#/media/Soubor:Linear\\_visible\\_spectrum.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A9_spektrum#/media/Soubor:Linear_visible_spectrum.svg)
- [50] *SIGRIST ColorPlus 2*, webové stránky technoprocur.cz. Dostupné z: [https://www.technoprocur.cz/sigrist-colorplus-2\\_z424/](https://www.technoprocur.cz/sigrist-colorplus-2_z424/)
- [51] *Stolní spektrofotometr CM-5*, webové stránky anamet.cz. Dostupné z: <https://www.anamet.cz/stolni-spektrofotometr-cm-5/>
- [52] KOHOUT V., *Historie a elementární základy teorie barev III*, *Školská fyzika*, Fraus, s. r. o., Plzeň, 2013, číslo 2, Dostupné z: [https://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013\\_02\\_8.pdf](https://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_02_8.pdf)
- [53] *Teplota chromatičnosti*, Mendělejevova Univerzita v Brně, 1999. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9104](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104)
- [54] *Color measurement instrument geometries*, webové stránky Konica Minolta Sensing. Dostupné z: <https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/color-measurement-instrument-geometries/>
- [55] ŠULCOVÁ P., *Vyjadřování a hodnocení barev*, Studentská vědecká konference, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, 2012, Dostupné z: <https://konference.osu.cz/svk/sbornik2012/pdf/budoucnost/chemie/sulcova.pdf>

- [56] FRANTÍK P., *Využití zobrazení v RGB prostoru: Barevné stupnice a jejich vlastnosti*, Problémy lomové mechaniky X., Brno: VUT v Brně, 2010, ISBN: 9788021441538. Dostupné z: <http://www.petrfrantik.cz/publications/2010/2010.10.plm/2010.10.plm.pdf>
- [57] KOREN D., HEGYESNÉ B. V., KUN-FARKAS G., URBIN Á., NYITRAI Á., SIPOS L., *How to objectively determine the color of beer?*, Journal of Food Science and Technology, 2020, ročník 57, číslo 3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04237-4>
- [58] *Barevný trojúhelník*, Encyklopedie fyziky Jaroslava Reichla. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/548-barevny-trojuhelnik>
- [59] *Barevný prostor LAB*, webové stránky kopina.cz, 2018. Dostupné z: <https://kopina.cz/terminologie/36958/lab/>
- [60] *About the European Brewery Convention*, webové stránky EBC. Dostupné z: <https://europeanbreweryconvention.eu/>
- [61] BERTUZZI T., MULAZZI A., RASTELLI S., DONADINI G., ROSSI F., SPIGNO G., *Targeted healthy compounds in small and large-scale brewed beers*, Food Chemistry, 2020, ročník 310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125935>
- [62] DOORN G. V., TIMORA J., WATSON S., MOORE Ch., SPENCE Ch., *The visual appearance of beer: a review concerning visually-determined expectations and their consequences for perception*, Food Research International, 2019, ročník 126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108661>
- [63] *Ultrazvukové lázně Bandelin SONOREX*, webové stránky bandelin.com, 2021. Dostupné z: <https://bandelin.com/produkte/ultraschallbaeder/sonorex-rk/>
- [64] *UltraScan VIS spectrophotometer*, Hunter Associates Laboratory, Inc. 2022, webové stránky hunterlab.com. Dostupné z: <https://www.hunterlab.com/en/solutions/color-measurement/ultra-scan-vis/>



# PŘÍLOHY

## Příloha 1 - Tabulka závislosti transmittance na vlnové délce viditelného světla pro 10mm kyvetu

Vzorek č.	Transmittance [%]	Vlnová délka [nm]																					
		360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780
1		2,05	9,38	25,16	40,1	50,14	58,81	68,15	75,11	81,68	85,48	89,03	91,35	93,29	94,74	95,86	96,77	97,47	97,97	98,39	98,72	99,01	99,25
2		1,72	7,89	22,11	36,09	45,93	54,66	64,86	72,78	80,31	84,62	88,53	91,04	93,13	94,68	95,88	96,83	97,55	98,08	98,48	98,81	99,07	99,29
3		1,74	8,05	21,28	33,85	43,29	52,1	62,55	70,66	78,47	83,02	87,21	89,93	92,22	93,94	95,26	96,33	97,11	97,7	98,17	98,56	98,86	99,07
4		1,72	7,48	19,86	32,35	42,01	51,04	61,2	68,98	76,69	81,29	85,68	88,62	91,1	92,98	94,44	95,62	96,52	97,2	97,77	98,25	98,59	98,84
5		1,35	6,41	18,92	32,09	41,68	50,34	59,96	67,26	74,55	79,03	83,46	86,52	89,19	91,26	92,91	94,28	95,36	96,19	96,93	97,54	98,02	98,34
6		0,62	3	11,53	23,2	33,24	43,09	54,84	64,18	73,44	79,03	84,25	87,76	90,72	92,94	94,63	95,93	96,87	97,57	98,11	98,55	98,87	99,13
7		1,07	5,87	18,86	32,3	42,2	51,24	62,17	70,95	79,53	84,42	88,71	91,42	93,62	95,21	96,4	97,35	98,02	98,49	98,89	99,24	99,49	99,53
8		1,46	7,33	21,64	36,54	47,01	56,13	66,11	73,56	80,67	84,75	88,59	91,09	93,16	94,68	95,85	96,79	97,51	98,03	98,47	98,88	99,16	99,34
9		1,06	5,48	17,94	31,4	41,67	51,05	61,97	70,59	78,8	83,57	87,88	90,66	92,93	94,63	95,89	96,88	97,6	98,1	98,54	98,89	99,1	99,25
10		0,74	3,88	13,26	25,01	34,93	44,58	56,07	65,08	74,2	79,65	84,74	88,13	90,95	93,03	94,6	95,86	96,81	97,47	98,06	98,54	98,88	99,15
11		0,82	4,36	15,74	29,53	40,22	50,21	61,72	70,65	79,25	84,23	88,67	91,51	93,78	95,41	96,61	97,54	98,18	98,65	99,02	99,34	99,53	99,72
12		0,65	3,8	14,35	27,09	37,41	47,15	58,82	68,07	77,09	82,31	87,05	90,09	92,6	94,42	95,79	96,86	97,62	98,14	98,56	98,93	99,21	99,36
13		0,78	4,14	14,28	26,81	36,89	46,39	57,54	66,34	75,07	80,27	85,14	88,36	91,02	92,99	94,5	95,71	96,59	97,26	97,8	98,28	98,62	98,86
14		0,89	4,29	14,23	25,96	35,43	44,44	54,98	63,32	71,91	77,21	82,28	85,74	88,69	90,94	92,72	94,18	95,33	96,19	96,93	97,56	98,02	98,34
15		0,61	3,12	11,94	23,36	32,9	42,2	53,59	62,83	72,12	77,76	83,04	86,6	89,63	91,9	93,67	95,07	96,11	96,87	97,55	98,13	98,49	98,75
16		0,8	3,97	13,15	24,29	34,24	44,15	56,19	65,88	75,34	80,98	86,13	89,52	92,34	94,42	95,94	97,05	97,82	98,36	98,83	99,19	99,42	99,54
17		4,95	13,21	25,62	37,17	46,12	54,27	62,65	68,84	75,32	79,44	83,72	86,7	89,26	91,28	92,86	94,17	95,24	96,08	96,79	97,4	97,86	98,21
18		3,69	10,72	21,97	32,93	42,02	50,66	59,72	66,45	73,4	77,84	82,44	85,64	88,41	90,58	92,28	93,68	94,84	95,74	96,48	97,13	97,62	98,02
19		2,24	7,89	19,52	32,08	41,78	50,79	60,62	67,9	75,1	79,54	84,02	87,1	89,77	91,86	93,48	94,76	95,79	96,6	97,25	97,81	98,24	98,62
20		1,32	5,1	13,7	24,31	34,1	43,79	54,5	62,71	71,16	76,49	81,82	85,47	88,58	90,96	92,79	94,24	95,38	96,24	96,95	97,55	97,97	98,33
21		0,83	3,39	10,83	20,84	30,26	40,13	52,26	61,99	71,65	77,58	83,24	87,05	90,23	92,61	94,39	95,74	96,72	97,46	98,02	98,5	98,84	99,05
22		0,74	3,85	13,63	25,63	35,66	45,13	55,75	63,87	72	77	81,91	85,32	88,28	90,57	92,41	93,92	95,11	96,03	96,8	97,44	97,95	98,32
23		0,11	0,27	1,32	3,57	6,84	11,46	18,69	25,78	34,92	42,24	50,05	56,64	62,96	68,29	72,97	77,12	80,64	83,5	86,04	88,2	90,06	91,5
24		0,01	0,01	0,02	0	0	0	0,04	0,13	0,48	1,18	2,64	4,89	8,33	12,65	17,87	23,89	30,3	36,61	42,97	49,11	55,05	60,22

**Příloha 2: Tabulka závislosti transmittance na vlnové délce viditelného světla pro 50mm kyvetu**

Vzorek č.	Vlnová délka [nm]																					
	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780
1	0,05	0,04	0,17	1,05	3,16	6,85	14,21	22,99	34,9	44,29	53,86	61,56	68,6	74,26	78,99	82,95	86,13	88,62	90,8	92,67	94,03	94,95
2	0,06	0,03	0,11	0,63	2,03	4,76	11,13	19,58	31,89	41,88	51,99	60,11	67,58	73,63	78,68	82,91	86,27	88,87	91,12	92,95	94,37	95,35
3	0,06	0,03	0,08	0,46	1,52	3,76	9,29	16,96	28,49	38,25	48,42	56,81	64,66	71,14	76,59	81,12	84,76	87,6	90,03	92,04	93,53	94,63
4	0,06	0,02	0,06	0,37	1,33	3,44	8,41	15,16	25,6	34,76	44,63	53,07	61,14	67,84	73,57	78,41	82,35	85,44	88,2	90,53	92,27	93,51
5	0,05	0,02	0,05	0,36	1,29	3,23	7,62	13,43	22,36	30,37	39,3	47,25	55,13	61,9	67,89	73,14	77,58	81,2	84,43	87,3	89,4	91,02
6	0,04	0,02	0,02	0,09	0,43	1,5	4,9	10,58	20,51	30,08	40,82	50,31	59,67	67,59	74,21	79,61	83,85	87,09	89,85	92,16	93,83	94,97
7	0,01	0,06	0,08	0,39	1,38	3,54	9,22	17,67	31,04	42,33	53,58	62,46	70,51	76,94	82,09	86,24	89,45	91,86	93,92	95,74	96,74	97,37
8	0,03	0,06	0,12	0,7	2,35	5,55	12,4	21,05	33,24	43,1	53,17	61,3	68,75	74,74	79,66	83,76	87,03	89,57	91,79	93,76	95	95,88
9	0,07	0,04	0,05	0,32	1,24	3,33	8,68	16,41	28,27	38,43	48,94	57,58	65,62	72,18	77,6	82,03	85,5	88,16	90,47	92,43	93,74	94,64
10	0,01	0,04	0,04	0,12	0,55	1,78	5,48	11,45	21,76	31,49	42,25	51,64	60,62	68,07	74,3	79,47	83,6	86,8	89,58	91,94	93,57	94,68
11	0,02	0,06	0,05	0,26	1,1	3,2	8,81	17,05	30,05	41,23	52,69	61,95	70,36	77,01	82,31	86,49	89,68	92,04	94,06	95,8	96,79	97,48
12	0,03	0,04	0,04	0,17	0,73	2,25	6,71	13,79	25,45	35,91	46,92	56,06	64,66	71,7	77,46	82,1	85,69	88,42	90,77	92,74	94,07	94,97
13	0,01	0,03	0,03	0,15	0,66	2	5,78	11,67	21,51	30,61	40,54	49,16	57,41	64,29	70,1	74,99	78,92	82,01	84,75	87,16	88,79	90,02
14	0,03	0,02	0,02	0,13	0,58	1,73	4,93	9,91	18,51	26,82	36,29	44,86	53,34	60,6	67,02	72,63	77,33	81,11	84,51	87,45	89,63	91,24
15	0,05	0,03	0,02	0,09	0,42	1,37	4,42	9,6	18,84	27,82	38	47,11	56,14	63,85	70,44	76,02	80,53	84,09	87,23	89,94	91,85	93,21
16	0,04	0,02	0,03	0,1	0,49	1,67	5,45	11,85	22,92	33,37	44,88	54,77	64,31	72,23	78,6	83,56	87,29	90,07	92,45	94,44	95,67	96,49
17	0,02	0,04	0,17	0,76	2,19	4,82	9,78	15,58	24,39	32,37	41,24	49,11	56,82	63,42	69,17	74,21	78,46	81,93	84,92	87,32	89,64	91,42
18	0,03	0,01	0,1	0,42	1,4	3,47	7,78	13,17	21,59	29,47	38,39	46,44	54,38	61,22	67,24	72,5	76,96	80,58	83,69	86,15	88,6	90,49
19	0,03	0,03	0,08	0,4	1,38	3,55	8,44	14,74	24,29	32,85	42,32	50,66	58,84	65,84	71,8	76,85	81,01	84,32	87,1	89,27	91,32	92,95
20	0,02	0,03	0,03	0,11	0,51	1,7	4,96	9,84	18,32	26,76	36,52	45,43	54,24	61,79	68,27	73,74	78,24	81,77	84,75	87,1	89,24	90,89
21	0,03	0,02	0,03	0,06	0,29	1,13	4,15	9,53	19,39	29,29	40,61	50,7	60,54	68,82	75,58	80,96	85,11	88,21	90,66	92,42	94,12	95,38
22	0,04	0,01	0,02	0,13	0,58	1,83	5,17	10,13	18,33	26,11	35,06	43,27	51,59	58,93	65,46	71,22	76,09	80,1	83,69	86,85	89,17	90,83
23	0	0	0	0	0	0	0,03	0,11	0,45	1,2	2,78	5,21	8,93	13,54	19,07	25,38	31,99	38,43	44,98	51,36	57,23	62,15
24	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0,02	0,07	0,25	0,64	1,41	2,73	4,85	7,63