

# Technologicky významné chemické látky chmele

Kornelie Dobešová

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie a mikrobiologie potravin  
akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kornelie DOBEŠOVÁ**  
Osobní číslo: **T06803**  
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Téma práce: **Technologicky významné chemické látky chmele**

Zásady pro vypracování:

1. Uvedte botanickou charakteristiku rostliny chmele otáčivého.
2. Obecně popište chemické složení chmelových šištic a jejich využití v pivovarském průmyslu.
3. Zaměřte se na polyfenoly a ostatní aromaticky významné látky chmele, včetně jejich vlastností.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] Špaldon E., 1986. Rostlinná výroba. Praha, SZN, 720 s. ISBN 07-124-86-04/11.
- [2] Frančáková H., Tóth Z., 2005. Sladovníctvo a pivovarníctvo. Nitra, SPU, 147 s. ISBN 80-8069-544-X.
- [3] Rop O., Hrabě J., 2009. Nealkoholické a alkoholické nápoje. Zlín, UTB, 130 s. ISBN 978-80-7318-748-4.
- [4] Časopis Kvasný průmysl, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, roč. 55/2009.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Otakar Rop, Ph.D.**

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

**11. února 2010**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**31. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. dubna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Ve své bakalářské práci popisuji chmel otáčivý (*Humulus Lupulus* L.) a jeho technologicky významné chemické látky. Zabývám se botanickou charakteristikou rostliny. Zaměřuji se také na aromaticky významné látky chmelových šištic a jejich vlastnosti. Dále uvádím základní pivovarské suroviny a stručně technologii výroby piva.

Klíčová slova: chmel otáčivý, polyfenolové látky, aromatické látky,  $\alpha$ ,  $\beta$ -hořké kyseliny, pivovarské suroviny, výroba piva

## **ABSTRACT**

In my thesis I describe the rotational hops (*Humulus Lupulus* L.) and technologically important chemical. Deal with the botanical characteristics of plants. It also focuses on aromatic substances of hop cones, and properties. Furthermore, present basic brewing ingredients and brewing technology briefly.

Keywords: hops rotary, polyphenolic substances, flavoring,  $\alpha$ ,  $\beta$ -bitter acids, the brewers' basic raw materials, production of beer

Za odborné vedení, za poskytnutí podkladů pro mou práci a cenné rady a připomínky, bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Otakaru Ropovi Ph. D.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 CHMEL OTÁČIVÝ</b> .....	<b>10</b>
1.1    PODDRUHY CHMELE OTÁČIVÉHO .....	12
1.2    POPIS ROSTLINY.....	12
1.2.1    Jiné využití chmele.....	16
<b>2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1    CHEMICKÉ SLOŽENÍ A VLASTNOSTI CHMELOVÝCH PRYSKYŘIC .....	20
2.2    CHMELOVÉ POLYFENOLY - TRÍSLOVINY .....	22
2.3    CHMELOVÉ SILICE .....	25
2.3.1    Ostatní složky chmele .....	28
CHMELOVÉ ODRŮDY .....	28
CHMELOVÉ VÝROBKY .....	33
<b>3 VÝROBA SLADU</b> .....	<b>34</b>
3.1    SLAD .....	34
<b>4 VÝROBA PIVA</b> .....	<b>39</b>
4.1    VÝROBA MLADINY .....	39
4.1.1    Šrotování .....	40
4.1.2    Vystírání .....	40
4.1.3    Rmutování .....	40
4.1.4    Scezování .....	41
4.1.5    Chmelovar .....	41
4.1.5.1    Fyzikálně – chemické změny při chmelovaru.....	41
4.1.6    Chlazení mladiny.....	43
4.2    KVAŠENÍ MLADINY A DOKVAŠOVÁNÍ MLADÉHO PIVA .....	43
4.2.1    Hlavní kvašení.....	44
4.2.2    Dokvašování.....	44
4.2.3    Jednofázové kvašení.....	44
4.3    ZÁVĚREČNÉ ÚPRAVY PIVA.....	44
4.3.1    Filtrace.....	44
4.3.2    Pasterace.....	45
4.3.3    Stabilizace .....	45
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>52</b>

<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>
---------------------------	-----------

## ÚVOD

Od starověku se chmel využíval jako rostlina léčivá. Dnes je chmel téměř jednocelová plodina, která se převážně používá pouze jako hodnotná a nezbytná pivovarská surovina pro výrobu kvalitního piva, kterému dodává vůni, hořkost a prodlužuje jeho trvanlivost.

U nás je pěstování chmele doloženo od 11. století, a to zejména v kláštorech. Chmel se v této době dostal do pěstebních kultur – chmelnic. Již od středověku byla zavedena jeho kultivace s využitím opěrných konstrukcí.

Pivo jako nápoj má v české gastronomii neobvyklé postavení. Jeho oblíbenost je dána jak historií, tak i skutečností, že se české pivo považuje díky nejkvalitnějším ječmenům a českému chmelu jako jedno z nejchutnějších. V České republice se z něj stal i důležitý exportní artikl.

Ve své práci jsem měla za úkol podrobně zpracovat současné poznatky o chemických látkách obsažených v rostlině chmel otáčivý (*Humulus Lupulus* L.). Nejdříve popisuji samotnou rostlinu, a to jak divoce rostoucí v našem okolí, tak i pěstovanou v chmelnicích. Studium literatury jsem shromáždila řadu poznatků k dané tématice, které dále uvádím v mé práci. Zajímavá je otázka významu rostliny v ekologii, a to ve vztahu k ostatním rostlinám (některé utlačuje), je využívána mnohými živočichy, jako potrava a některé druhy hmyzu jsou vázány pouze na ni. Druhy hmyzu žijící na této rostlině se v chmelnicích přemnožují a působí jako škůdci např. dřepčík chmelový, mšice chmelová atd. V současné době nejsou určeny veškeré chemické látky obsažené ve chmelu otáčivém, a proto má bakalářská práce může sloužit jako primární zdroj pro další studium této plodiny.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CHMEL OTÁČIVÝ

Chmel otáčivý (*Humulus lupulus* L.) patří do čeledi konopovitých (*Cannabaceae*) stejně jako kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) a konopí seté (*Cannabis sativa*) [1,2].

Chmel je pravotočivě oplétavá dvoudomá vytrvalá bylina [3], která vyhání z plazivého oddenku 3 až 6 m [4] dlouhé lodyhy, porostlé drsně háčkovitými chlupy, s listy dlouze řapíkatými, které naspodu mají srostlé palisty. Spodní listy, až 12 cm dlouhé, mají čepel okrouhle vejčitou a dlanitě 3-5 laločnatou, u řapíku srdčité vykrojenou, pichlavě zubatou a na líci hladkou až drsnou. Horní listy jsou mělčeji laločnaté až nedělené, vstřícné nebo se střídají se samičími květenstvími. Samčí rostliny mají květenství úžlabní nebo terminální. Jsou to laty, složené z pětičetných kvítků, jejichž okvěť je bledě žluté a hvězdovitě rozložené, uvnitř mají 5 tyčinek. Samičí kvítky tvoří malé klásky, jež se mění ve vejčité šištice [5], 2-3 cm dlouhé, v době květu světle zelené, v době zralosti bledě žluté a převislé, se šupinami až 2 cm dlouhými, vejčitými, pokrytými zlatožlutými lupulinovými žlázkami. Ploché nažky rovněž nesou na povrchu tyto žlásky. Semena mají šnekovitě stočený klíček. Kvete od května do července a plody uzrávají od srpna do září [6].

Je rozšířen po celé Evropě,[7] v pobřežních křovinách teplejších krajů mírného pásu severní polokoule, na mnoha místech ovšem jen druhotně. Roste u potoků a řek, ve vlhkých křovinách, okrajích lesů, olšínách, lužních lesích [8]. Vyhovují mu vlhké, mírně kyselé půdy. Jedná se rostlinu vytrvalou (tzv.trvalku), na jednom místě vydrží 20 - 25 let. Na chmelnicích např. na Lounsku, Žatecku a Tršicku,[9] se pěstují v teplejších oblastech jen samičí rostliny, samčí rostliny se odstraňují, neboť chmel po opylení ztrácí na jakosti. Žlásky neboli „chmelová moučka“ dodává pivu známou nahořklou a aromatickou chuť [1] a zvyšují také jeho trvanlivost, neboť brání vývoji bakterií mléčného kvašení. Účinné látky chmele jsou nahromaděny hlavně v tzv.lupulinových žlázkách [6]. Pro chmel otáčivý je důležité rozšiřování tekoucí vodou. Na některých stanovištích jsou plody šířeny větrem [10]. Jako kulturní rostlina je chmel otáčivý pěstován již od 8. století [7]. Planý chmel se dost často objevuje v plotech, v křovinách a v pobřežních houštinách [11]. Největšími producenty chmele na světě jsou Německo, Spojené státy americké a Česká republika [12].

Chmel je rostlina náročná na světlo. Obsah vody v chmelových hlávkách po sklizni bývá 72 až 82 % a sušením se musí snížit až na 8 %. Chmel se suší nejčastěji v komorových žaluziových sušárnách ve vrstvách vysokých 20 cm po dobu 5 až 8 hodin teplým vzduchem

při teplotách nepřesahujících 50° C. Po vysušení se chmel skladuje, přičemž jeho vlhkost se zvyšuje až na 11 %. Poté se třídí, lisuje do žoků a odesílá buď k dalšímu zpracování, nebo přímo do pivovarů [13].

Obrázek 1: Chmel otáčivý [6]



## 1.1 Poddruhy chmele otáčivého

U chmele otáčivého rozeznáváme tři poddruhy:

- Chmel srdčitolistý – *Humulus lupulus* L. ssp. *cordifilius* Maxim [14]
- Chmel novomexický – *Humulus lupulus* L ssp. *neomexicanus* [14]
- Chmel evropský – *Humulus lupulus* L. ssp. *europaeus* [14]

Tyto poddruhy se navzájem liší kromě jiného i formou pohlavních chromozómů samčích rostlin.

Na výhoncích semenáčků uvedených poddruhů se nejdříve tvoří celistvé srdčité listy, které u chmele srdčitolistého vyrůstají na celé rostlině. Na révě a na fazochách chmele evropského a novomexického se tvoří trojlaločné a pětialočnaté listy. Tvoření laločnatých listů můžeme tedy považovat za druhotný jev, který se vyskytuje na chmelu evropském a na chmelu novomexickém.

U chmele evropského se zatím zjistily tři variety:

- Zakrslý
- Planý
- Kulturní

## 1.2 Popis rostliny

Podzemní orgány chmele rozdělujeme na dvě soustavy:

- a) Babku, která zahrnuje všechny podzemní orgány vzniklé změnou stonku.
- b) Kořenovou soustavu, do níž zahrnujeme všechny typy kořenů.

Na chmelové babce můžeme zřetelně rozlišit čtyři typy orgánů. Nejhlouběji v zemi nalezneme značně zdřevnatělý víceletý podzemní stonek, kterému se říká „staré dřevo“. Ze starého dřeva vyrůstá zpravidla kolmo nahoru až k povrchu půdy dužnaté jednoleté „nové dřevo“ (podzemní oddenek). Horizontálně v půdě se rozrůstají zvláštní stonkové orgány – vlky, které dělíme na jednoleté nové vlky a na víceleté staré vlky.

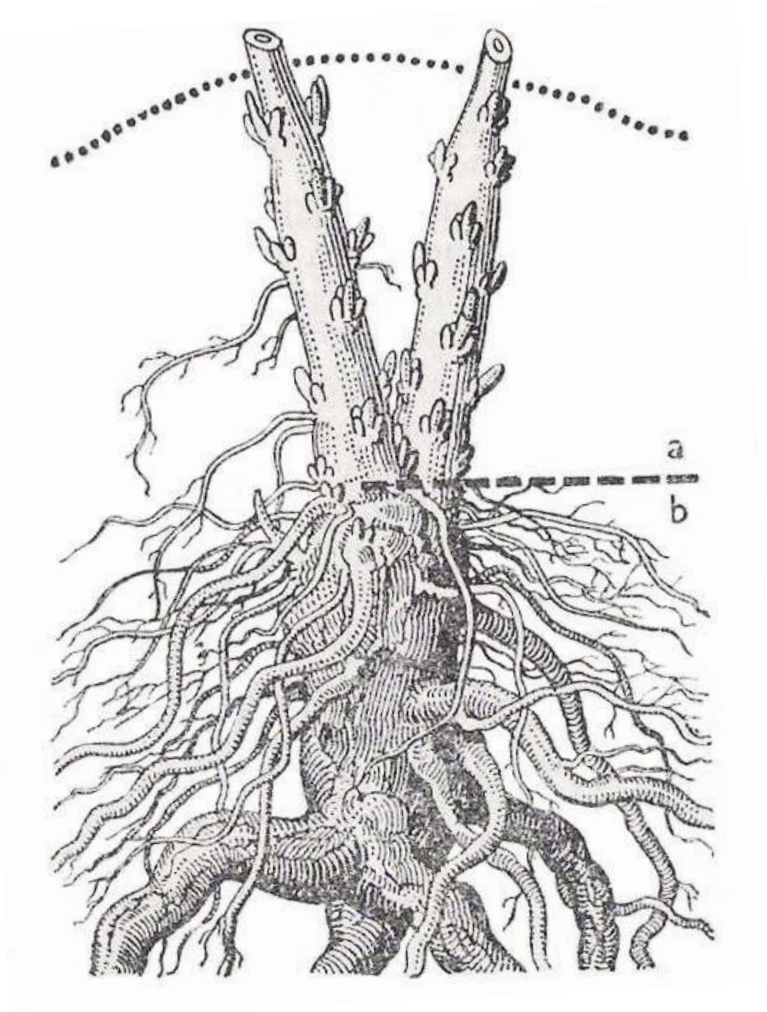
Staré dřevo každoročně tloustne tím, že na jeho obvodě přirůstá letokruh o síle 5 mm. Část lodyhy, která prochází půdou se mění na nové dřevo, je dužnaté a na povrchu chráněné pokožkou.

Kostru kořenové soustavy chmele tvoří dva typy kořenů:

- a) Vertikálně rostoucí kůlové kořeny.
- b) Horizontálně rostoucí postraní kořeny.

Kůlové kořeny vyrůstají nejčastěji na bázi starého dřeva v různém počtu na jedné chmelové rostlině do hloubky 2-3 m., kde se větví a tvoří postraní kořeny. Intenzivněji se obnovují horizontální kořeny, zatímco vertikální kořeny se obnovují méně.

Obrázek 2: Podzemní část chmele: a – nové dřevo, b – staré dřevo [14]



Nadzemní část rostliny:

Na nadzemní části chmelových rostlin rozlišujeme tyto orgány:

- a) Lodyha, réva
- b) Větve, fazochy
- c) Listy
- d) Květenství, osýpka
- e) Plodenství, chmelová hlávka (šišťice)

Réva dorůstá až do výšky 8 m. Její nadzemní část je podobně jako podzemní část rozdělena množstvím uzlin (nodů) na jednotlivé články (internodia). Tři nejmladší články, které mají schopnost narůstat do délky, jsou oválné, na průřezu plné a dužnaté. Ostatní starší články jsou šestihranné, uvnitř duté. Z pokožky vyrůstají přichytné chlupy (trichomy), které umožňují zachycování révy na oporu.

V horní části vzrostného vrcholu je vrcholový meristém. Dělením a narůstáním komplexu buněk se postupně vytvářejí rostlinná pletiva, a tak narůstá chmelová réva do délky. Z uzlin vyrůstají listy a postranní větve. Z každé uzliny vyrůstají proti sobě dva listy.

Postranní fazochy (rames) vyrůstají z prostředních pupenů révových listů. Stavba fazochů je podobná stavbě révy, ale fazochy jsou celkově slabší a mají i kratší články než réva. Fazochy mají schopnost se dále větvit.

Révové listy jsou velké, zpravidla plně vyvinuté. Řapíky dorostlých listů jsou tlusté, dlouhé 80-100 mm. Tvar listové čepele se mění podle stáří listu, mladé listy jsou srdčité, starší trojlaločné a úplně vyvinuté listy jsou pětialočné. Na horní, lícni straně listu vystupují z pokožky početné chlupy (trichomy), na spodní straně je dobře znatelná hustá síť žilnatiny a četné průduchy.

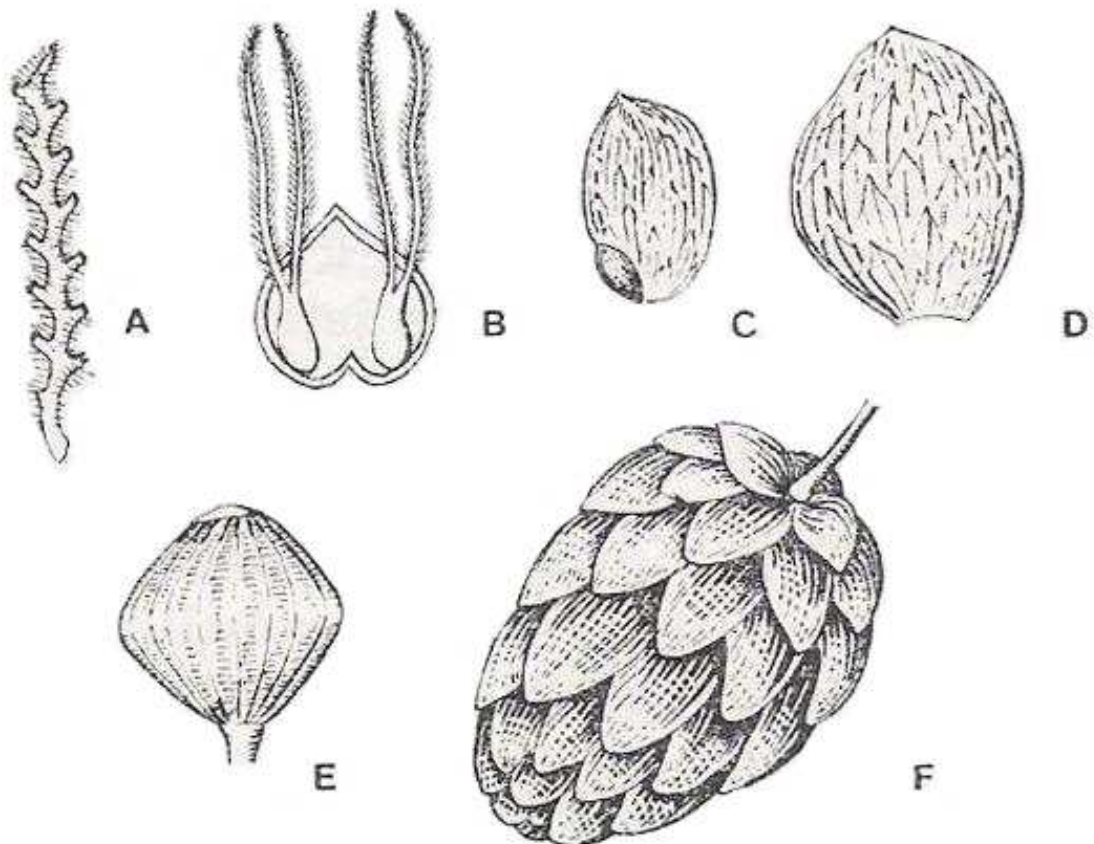
Květenství chmele je dvojího typu, na samičích rostlinách se tvoří květenství pestíková, na samčích prašníková.

Samičí květenství se vytvářejí z květních poupat, odborně označovaných jako paličky. Za vznik vlastního květenství se považuje vysunutí blizen nad okraj krycích listenů. Osu samičího květenství tvoří hustě zalomené věténko. Na každém zalomení věténka jsou čtyři květy. Každý z nich je chráněn jedním pravým listem.

Samčí květenství tvoří bohatě rozvětvená lata. Květy jsou drobné, nenápadně žlutavé barvy. Planě rostoucí samčí rostliny považujeme za plevel, který je nutno v okruhu nejméně 6 km od chmelnic ničit, aby se zabránilo opylení pestíkových květenství na samičích rostlinách [14].

Chmelové hlávky, které se sklízí pro pivovarské účely, se skládají ze stopky, vřeténka, pravých a krycích listenů a při oplození obsahují navíc semeno neboli pecku. Na vnitřní straně listenů se při zrání chmele vylučují pryskyřičná zrnka lupulinu, obsahující chmelové pryskyřice a silice, pivovarsky nejcennější složky chmele [15].

Obrázek 3: Hlávka chmele: A – vřeténko, B – pestíkový květ, C- pravý listen, D – krycí listen, E – lupulinová žláзка, F – hlávka [14].



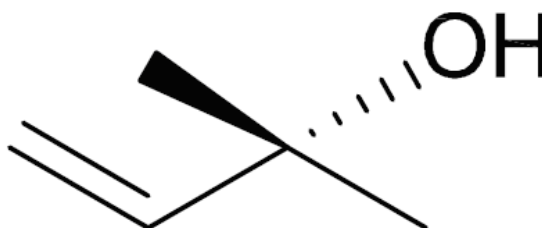
tabulka 1: Taxonomická klasifikace chmele otáčivého [2]

Říše	rostliny ( <i>Plantae</i> )
Podříše	cévnaté rostliny ( <i>Tracheobionta</i> )
Oddělení	krytosemenné ( <i>Magnoliophyta</i> )
Třída	vyšší dvouděložné ( <i>Rosopsida</i> )
Řád	kopřivotvaré ( <i>Urticales</i> )
Čeleď	konopovité ( <i>Cannabaceae</i> )
Rod	chmel ( <i>Humulus</i> )
Druh	chmel otáčivý ( <i>Humulus lupulus</i> )

### 1.2.1 Jiné využití chmele

Vedle všeobecně známého využívání v pivovarství uplatňuje se chmel i v lékařství a kulinářství. V medicíně se chmel využíval dlouho před pivovarstvím [12]. Květní hlávky se dosud používají v léčitelství [16]. Příznivě ovlivňuje zažívání [9]. Působí jako uklidňující prostředek při nervozitě a nespavosti. Používá se k zevnímu ošetření nádorových vředů [7]. Chmel se též používá k léčení úzkosti a neklidu. Sedativní složkou chmele je zjevně chemická sloučenina metylbutenol, která má uklidňující účinek na centrální nervovou soustavu [17], podporuje chuť k jídlu a činnost žaludku [18]. Působí i mírně diureticky [19]. Listy chmele jsou zkrmitelné, lze je též použít na siláž. Z mladých výhonků se připravují saláty [16]. Římské prameny z prvního století našeho letopočtu se o chmelu zmiňují jako o oblíbené zahradní zelenině [35]. Mladé postraní výhonky se prodávaly na trzích a v kuchyni zpracovávaly obdobně jako chřest [20]. V některých jižních zemích jsou přísadou při přípravě chlebových kvasů [12].

Obrázek 4: Metylbutenol [21]





## 2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ

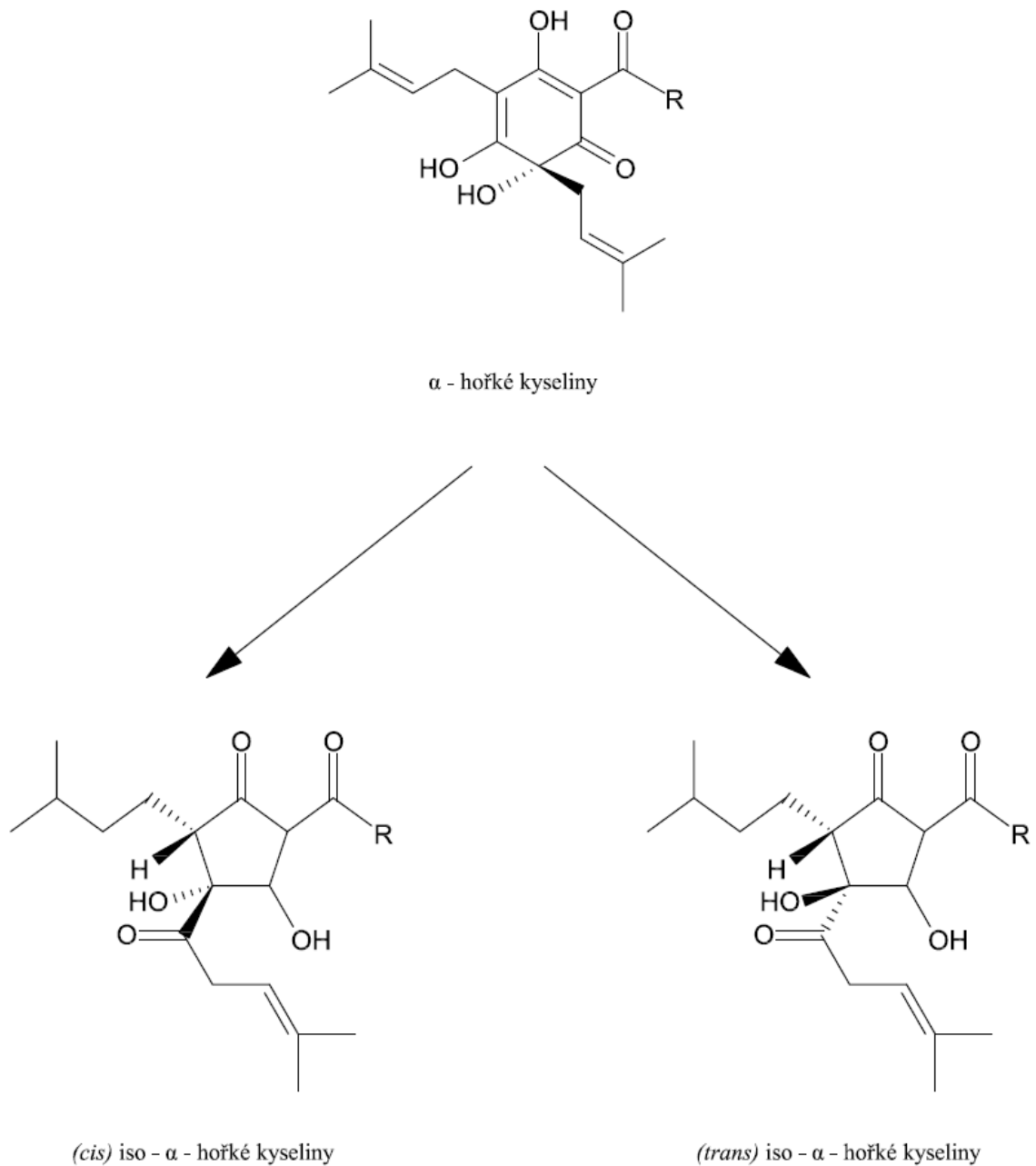
Původně se chmel používal v pivovarské technologii především pro své bakteriostatické účinky zajišťující vyšší trvanlivost piva. Teprve mnohem později se začal používat pro dodání hořké chuti a úpravu dalších vlastností piva. Chemická skladba chmele zahrnuje pivovarsky důležité složky, ke kterým patří chmelové pryskyřice, silice a polyfenoly. Jako přírodní produkt obsahuje chmel vždy také vodu. Čerstvý sklizený chmel má vysoký obsah vody (okolo 75 %), a proto se nemůže v původním stavu skladovat. Po umělém vysušení obsahuje chmel 10 až 14 % vody [22]. Z ostatních přítomných látek se věnuje pozornost tzv. problémovým složkám, které mohou kvalitu chmele či chmelových výrobků pro pivovarské využití ovlivnit negativně. K problémovým složkám chmele patří dusičnany. Nejvyšší obsah je v hlávkovém chmelu (0,5 až 1,5 %), kdežto ve chmelových výrobcích je jejich obsah v závislosti na způsobu zpracování obvykle snížen nebo zcela eliminován.

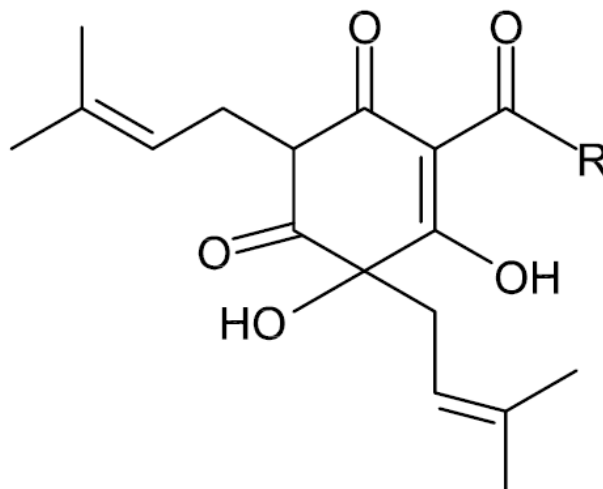
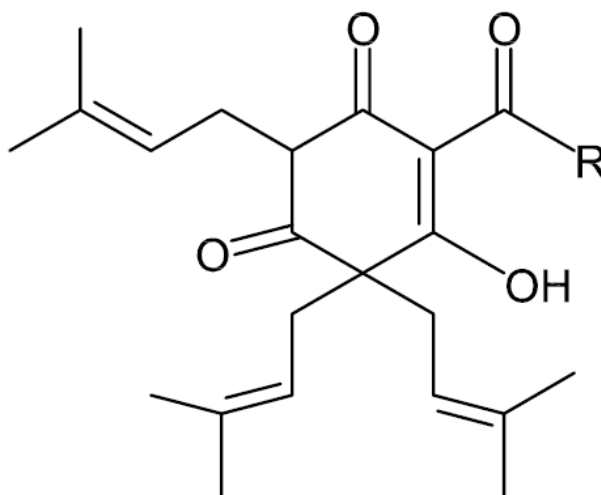
Transformační produkty chmelových pryskyřic, tvořící se při chmelovaru, jsou zdrojem typické hořkosti piva, stabilizují pивní pěnu a díky antiseptickým účinkům zvyšují biologickou trvanlivost piva. Jsou složitým komplexem látek, z nichž pouze u některých známe chemické složení i strukturu. Patří k nim především  $\alpha$ -hořké kyseliny a  $\beta$ -hořké kyseliny, které jsou v čistém stavu bez chuti a vůně a málo rozpustné ve vodě.  $\alpha$ -Hořké kyseliny jsou tvořeny směsí sedmi dosud známých analogů humulonů. V přirozených směsích  $\alpha$ -hořkých kyselin převládají kohumulon, humulon a adhumulon.  $\beta$ -hořké kyseliny se rovněž vyskytují ve směsi analogů, z nichž nejvíc jsou zastoupeny kolupulon, lupulon a adlupulon. V průběhu chmelovaru dochází k izomeraci  $\alpha$ -hořkých kyselin na iso- $\alpha$ -hořké kyseliny. Tyto látky jsou rozpustné ve vodě a jsou hlavním zdrojem hořkosti piv. Přibližně 10 % celkové hořkosti piva pochází z transformačních produktů  $\beta$ -hořkých kyselin [12].

### Nejčastější složení suchých chmelových hlávek:

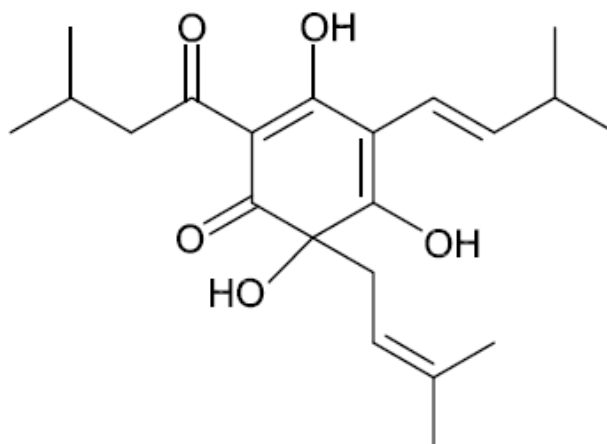
- voda 10 %
- celkové pryskyřice 15-18 %
- polyfenolové látky (třísloviny) 4 %
- silice 0,5 %
- sacharidová složka 44,5 %
- dusíkaté látky 15 %

- lipidy a vosky 3 %
- minerální látky 8 % [23]

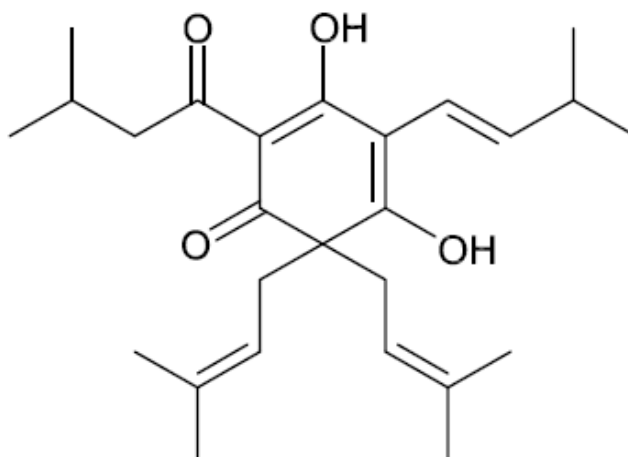
Obrázek 5: Izomerace  $\alpha$ -hořkých kyselin při chmelovaru [15]

Obrázek 6: Strukturální vzorec  $\alpha$ -hořké kyseliny [15]Obrázek 7: Strukturální vzorec  $\beta$ -hořké kyseliny [15]

Obrázek 8: Humulon [21]



Obrázek 9: Lupulon [21]



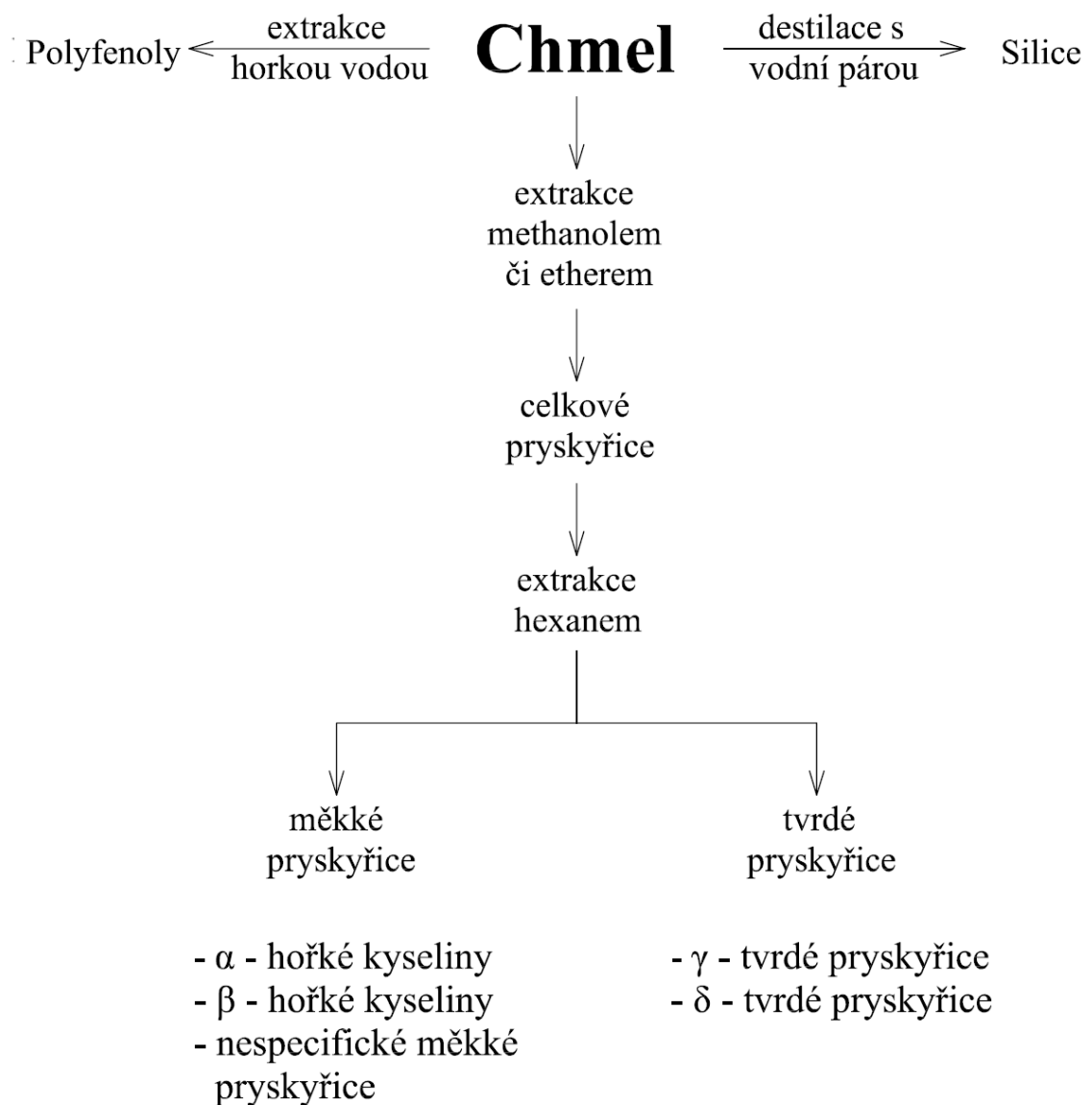
## 2.1 Chemické složení a vlastnosti chmelových pryskyřic

Chmelové pryskyřice jsou původci hořké chuti piva [13] a jsou tvořeny řadou chemicky podobných látek, z nichž nejúčinnější je skupina  $\alpha$ -hořkých a  $\beta$ -hořkých kyselin. Chemicky se jedná o složité organické sloučeniny, které snadno podléhají oxidaci a dalším chemickým přeměnám. Zejména  $\alpha$ -hořké kyseliny snadno oxidují a mění se v nesespecifické měkké pryskyřice až tvrdé pryskyřice, které mají podstatně nižší pivovarskou hodnotu. Proto se musí chmel skladovat v chladu a temnu za omezeného přístupu kyslíku [15].

Měkké pryskyřice jsou podílem celkových pryskyřic rozpuštěných v parafínových uhlovodíků s nízkou teplotou varu a skládají se hlavně z  $\alpha$ -hořkých kyseliny,  $\beta$ -hořkých kyselin a nespecifických měkkých pryskyřic.

Tvrdé pryskyřice mají nepoměrně menší pivovarský význam, než měkké pryskyřice. Při čerstvém šetrně sušeném chmelu je jejich obsah poměrně nízký. Zvyšuje se hlavně při skladování chmele za přístupu vzduchu a vyšších teplotách [23].

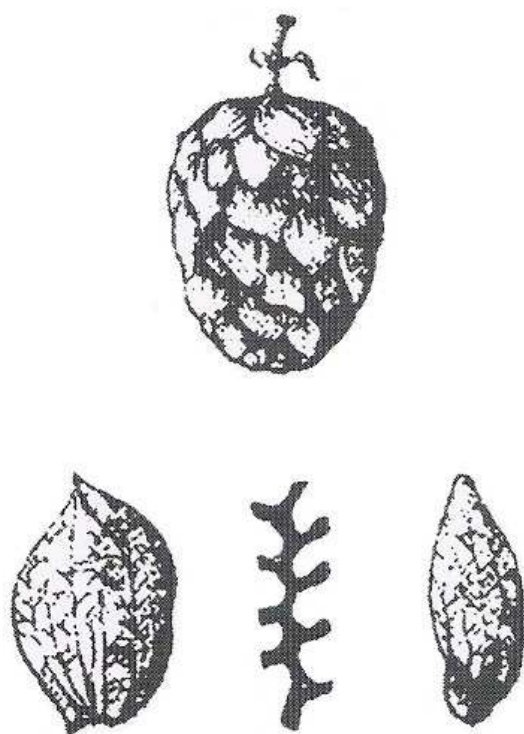
Obrázek 10: Schéma dělení účinných chmelových látek [15]



## 2.2 Chmelové polyfenoly - třísloviny

Zahrnují jednoduché fenolové kyseliny (gallovou, hydroxykořicovou, kávovou, kumarovou aj.) a jejich deriváty, dále polycyklické struktury nazývané flavonoidy [12]. Jsou to vesměs reaktivní látky, snadno podléhající oxidačně-redukčním přeměnám a vykazují vysokou reaktivitu vůči bílkovinám [15]. Množství a složení chmelových polyfenolů je závislé na odrůdě, ale například také na pěstební lokalitě. Chmelové polyfenoly mají řadu důležitých vlastností. Především jsou rozpustné ve vodě, a proto se dostávají až do konečného produktu [9]. Podle dávky chmelu a odrůdy představují chmelové polyfenoly 20 až 30 % celkových polyfenolů piva [23], ostatní pocházejí ze sladu a jeho náhražek [12]. Chmelové polyfenoly v mladině a v pivu zlepšují jejich redukční vlastnosti a chuťovou stabilitu a výrazně ovlivňují koloidní stabilitu [23]. V pivovarském procesu se polyfenoly podílejí na reakcích vzniku nerozpustných bílkovinných komplexů při vylučování hořkých kalů. Chmelové polyfenoly mohou mít modifikační vliv na hořkost a plnost piva. Současný zájem o ně je vyvolán jejich přirozenými antioxidačními schopnostmi [12]. Přispívají též k výraznosti a říznosti piva [13]. Nejvyšší obsah celkových polyfenolů vykazující zpravidla jemné aromatické odrůdy, zejména „Žatecký poloraný červeňák“, u něhož se obsah pohybuje v rozsahu 3,5 až 4,5 % [15]. Z hlediska intenzity hořkosti je vydatnější podíl  $\alpha$ -hořkých kyselin, z hlediska jemnosti podíl  $\beta$ -hořkých kyselin [13].

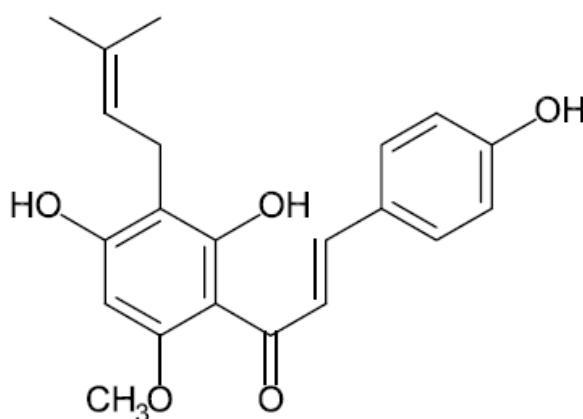
Obrázek 11: Chmelová hlávka „Žateckého poloraného červeňáku“ a její části [15]



Zvláštní skupinou chmelových polyfenolů tvoří tzv. prenylované flavonoidy. Tato skupina látek se při biosyntéze vylučuje společně s chmelovými pryskyřicemi a silicemi do lupulinových žláz. Díky jejich bioaktivním účinkům se staly v posledních letech předmětem lékařského a farmaceutického výzkumu [24].

Převážný podíl prenylovaných flavonoidů tvoří xanthohumol. Jeho obsah ve chmelu může činit až 1 % [12]. Z dalších zástupců se ve chmelu nachází desmethylxanthohumol (DMX), isoxanthohumol (IX) a 8-prenylnaringenin (8-PN). U těchto látek byly mj. prokázány protirakovinné, protizánětlivé, estrogenní a antimikrobiální účinky. Taxonomicky patří prenylflavonoidy mezi polyfenoly chalkonové řady. Prakticky tvoří přechod mezi chmelovými pryskyřicemi a polyfenoly. Obsah a složení chmelových prenylflavonoidů závisí na odrůdě, zralosti chmele, skladovacích podmínkách a způsobu zpracování po sklizni. Xanthohumol tvoří až 90 % celkových prenylflavonoidů obsažených ve chmelu. V průběhu výroby piva se xanthohumol izomeruje na isoxanthohumol, který je tak nejdůležitějším prenylflavonoidem v pivu. Podobně se desmethylxanthohumol izomeruje na 8-prenylnaringenin a 6-prenylnaringenin (6-PN) [24].

Obrázek 12: Xanthohumol [21]



tabulka 2: Obsah jednotlivých polyfenolových složek v pivu [25]

<b>Polyfenoly celkově</b>	172 mg.l <sup>-1</sup>
Antokyanogeny	46 mg.l <sup>-1</sup>
Katechin	5 – 55 mg.l <sup>-1</sup>
Epikatechin	9 – 24 mg.l <sup>-1</sup>
Rutin	1 – 6 mg.l <sup>-1</sup>
Quercetin	5 – 125 mg.l <sup>-1</sup>
Quercetrin	1 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina chlorogenová	2 – 20 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina chinová	1 – 5 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina para-kumarová	1 – 7 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina ferulová	2 – 21 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina sinapová	1 – 20 mg.l <sup>-1</sup>
Kampferol	5 – 20 mg.l <sup>-1</sup>
Myricetrin	1 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina gallová	5 – 29 mg.l <sup>-1</sup>
Kyselina para-hydroxybenzoová	5 – 20 mg.l <sup>-1</sup>



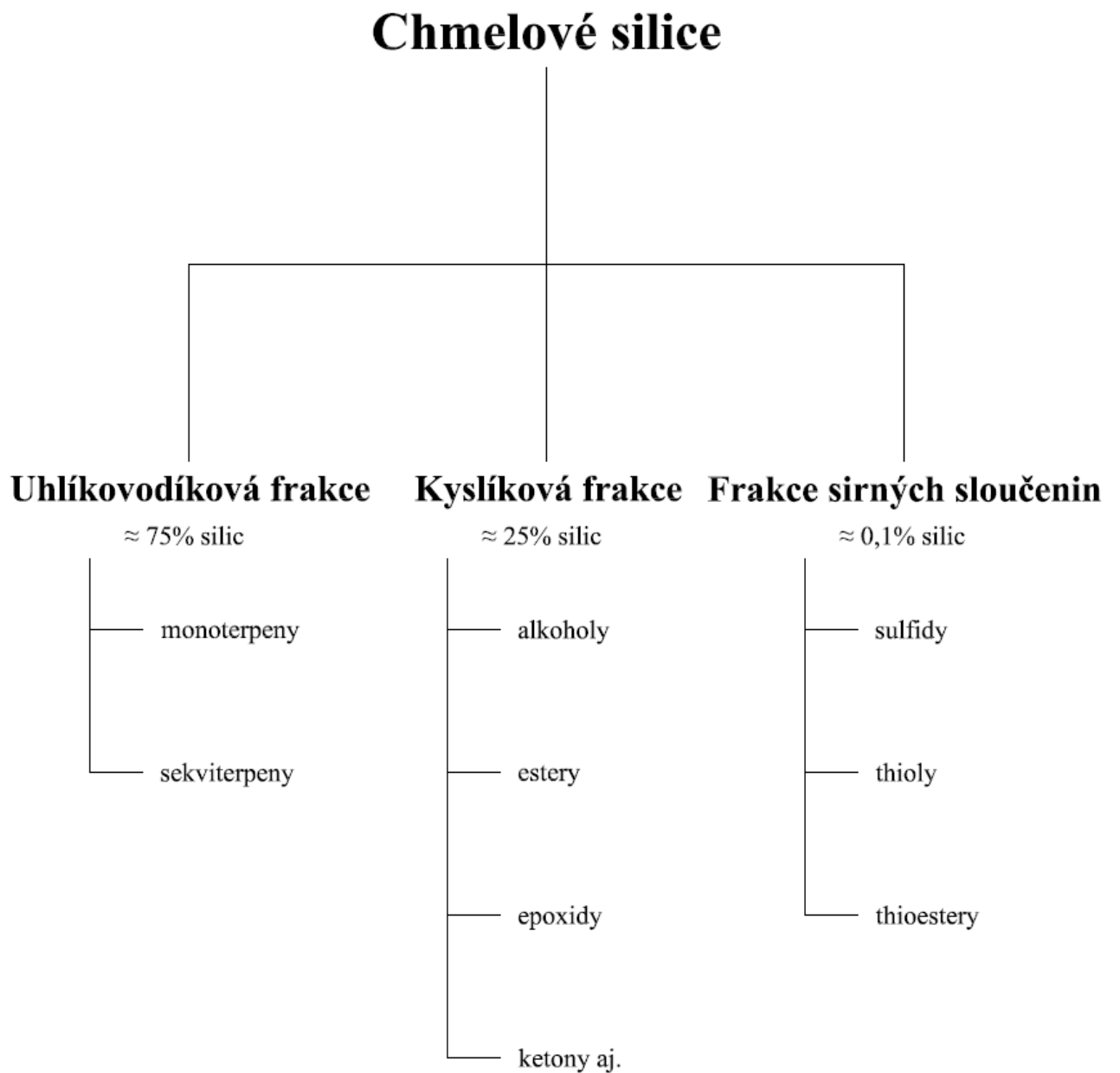
### 2.3 Chmelové silice

Chmelové silice jsou nejdůležitější skupinou látek odpovědných za aroma chmele. Silice jsou přítomny v lupulinových zrnech chmelové hlávky a chmel jich obsahuje 0,5 až 3,0 % [9], které se tvoří převážně v posledních fázích dozrávání chmelové rostlin [23]. Jsou složitou směsí několika set přírodních látek převážně terpenického charakteru a různého chemického složení. Některé jsou zastoupeny řádově v desítkách procent, mnoho dalších se vyskytuje v malém až stopovém množství. Všechny se společně podílejí na vzniku charakteristického chmelového aroma [12]. Při chmelovaru větší část chmelových silic uniká a asi jen  $\frac{1}{4}$  přechází do mladiny a dále do piva, kde přispívá spolu s produkty kvašení k vytváření charakteristické vůně [23].

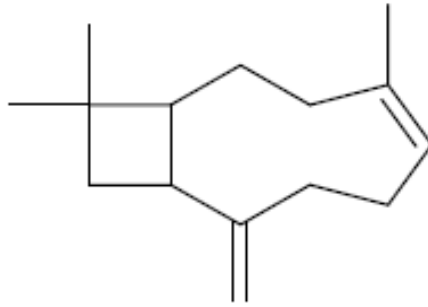
Složky chmelových silic je možno rozdělit do tří skupin látek. Největší podíl připadá na uhlovodíkovou frakci [12], která převažuje v čerstvě sklizeném chmelu [15] a tvoří 70-80 % celkové hmotnosti silic. Zbývající podíl (okolo 25 %) připadá na látky obsahující kyslík [12]. Kyslíkatá frakce vznikající oxidací původních uhlovodíků během zrání, zpracování a skladování chmele [15]. Sirná frakce chmelových silic tvoří přibližně pouze 1 % [12] a je přítomná jen v nepatrném množství [15]. K nejdůležitějším složkám uhlovodíkové frakce chmelových silic patří terpenické uhlovodíky, zejména myrcen, humulon a karyofylen [12] a u odrůd žateckého poloraného červeňáku i farnesen [15]. Kyslíkatá frakce je z hlediska chemického složení mnohem rozmanitější. K důležitým složkám patří např. alkoholy, epoxidy, methylketony a estery mastných kyselin [12].

Těkavé složky uhlovodíkové frakce silic jsou původcem aroma chmele. Během chmelovaru však vytěkají s vodní párou a do mladiny a piva přecházejí pro svou nízkou rozpustnost jen nepatrně. Složky kyslíkaté frakce jsou mnohem rozpustnější ve vodě, dostávají se až do piva a spolu s těkavými kvasnými produkty vytvářejí aroma piva. Jemné chmelové aroma, poskytují pivu především chmele a chmelové výrobky pocházejících z jemných aromatických odrůd. Aromatické chmele se proto často dávkuje až těsně před koncem chmelovaru, nebo i později, aby nestačili oddestilovat, a tím se zvýšil jejich obsah v mladině a následně pivu [15].

Obrázek 13: Hlavní terpenické složky chmelových silic [15]

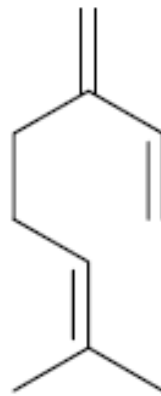


Obrázek 14: Karyofylen [15]



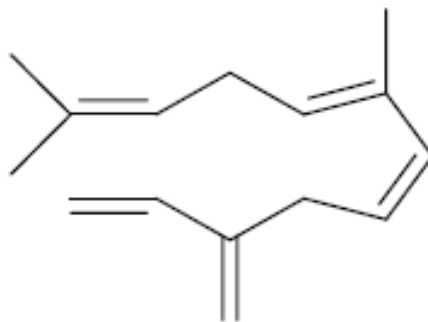
Karyofylen

Obrázek 15: Myrcen [15]



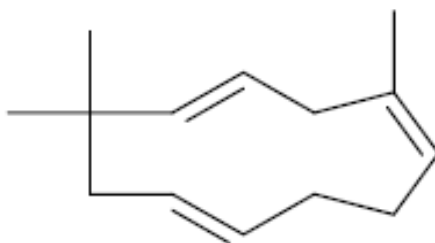
Myrcen

Obrázek 16: Farnesen [15]



Farnesen

Obrázek 17: Humulen [15]



Humulen

### 2.3.1 Ostatní složky chmele

Pivovarsky cenné složky chmele ( pryskyřice, polyfenoly, silice) tvoří jen 1/5 až 1/4 hmotnosti chmele. Zbytek tvoří z pivovarského hlediska méně významné látky, jako sacharidy (v množství až 45 % sušiny), dusíkaté látky ( v množství 15 až 20 %), vosky, lipidy a minerální látky [23].

### Chmelové odrůdy

V České republice bylo v roce 2007 registrováno 7 odrůd chmele – „Žatecký poloraný červenáček“, „Sládek“, „Harmonie“, „Bor“, „Premiant“, „Rubín“ a „Agnes“. Obsah  $\alpha$ -hořkých kyselin je považován za nejdůležitější kvalitativní znak chmele. V komerčních odrůdách se pohybuje v rozmezí 2,5 až 17 % hm.[12]. Z obchodního i pivovarského hlediska se odrůdy chmele dělí na jemné čili aromatické, představované především žateckými odrůdami, s ušlechtilým a příjemným chmelovým aroma. Dále na hořké a vysokoobsažné odrůdy s vysokým obsahem pryskyřic, hlavně  $\alpha$ -hořkých kyselin, ale s méně příznivým aroma, a na odrůdy ostatní. Podle zabarvení chmelové révy se rozdělují chmelové odrůdy na červenáčky, opět představované žateckými odrůdami, a na zeleňáčky pěstované v zahraničí, zejména ve Velké Británii, Austrálii a v USA. Podle vegetační doby zrání se rozeznávají odrůdy rané, polorané a pozdní. Aromatické odrůdy jsou většinou rané až polorané, hořké odrůdy bývají pozdní [15].

Na základě obsahu  $\alpha$ -hořkých kyselin se odrůdy chmele rozdělují obvykle do čtyř komerčně i technologicky odlišných skupin.

### 1. Jemné aromatické

Odrůdy této skupiny představují tradiční jemné aromatické chmele, poskytující pivu vynikající chmelové aroma a hořkost. Jsou vhodné pro přímé chmelení. Do této skupiny patří především „Žatecký poloraný červeňák“ [12], německé odrůdy „Tettnang“ a „Spalt“ a polská odrůda „Lublin“. Ve formě lisovaného chmele nebo granulí se používá „Žatecký poloraný červeňák“ především pro finální chmelení piva (20 - 5 minut před koncem chmelovaru). Žatecký chmel dodává pivu příjemnou a vyrovnanou chuť a vůni. Je velmi bohatý na polyfenoly. Vyrovnaný poměr alfa a beta hořkých látek způsobuje spolu s jedinečným obsahem chmelových silic nenapodobitelný charakter chuti piva. Žatecký chmel je používán jako prostředek formující konečnou vyváženou chuť masově vyráběných piv [26]. Obsah  $\alpha$ -hořkých kyselin se pohybuje v rozsahu 3,5 až 4 % [31], podíl kohomulonu v rozsahu 25 až 30 % a podíl farnesenu 10 až 15 % [15].

### 2. Aromatické

Chmelové hlávky si zachovávají příjemnou chmelovou vůni. Jsou též vhodné pro přímé chmelení. Do této skupiny patří např. anglická odrůda „Fuggle“, německá „Spalte Select“ a české odrůdy „Sládek“ a „Harmonie“ [12]. Ve formě chmelových granulí je odrůda „Sládek“ používána pro druhé, někdy i poslední chmelení piva. Aplikace ve středním chmelení zajistí vyšší úroveň hořkosti při zachování příjemného chmelového aroma. Konečná chuť a aroma piva jsou typicky chmelové. Pivovarské testy ukazují, že odrůda „Sládek“ není schopna zcela nahradit „Žatecký poloraný červeňák“, ale obě tyto odrůdy se vzájemně doplňují při výrobě vysoce kvalitních ležáckých piv [26]. Hlávky této skupiny mívají 5 až 8 % [27]  $\alpha$ -hořkých kyselin, podíl kohomulonu činí 20 až 40 % a podíl farnesenu obvykle do 5 % [15].

### 3. Hořké

V pivovarství jsou používány jako částečná náhrada za aromatické odrůdy. Jedná se o kategorii starších zahraničních odrůd např. „Perle“, „Marynka“, „Northerm Brewer“ a „Brewers Gold“. Z českých odrůd sem patří „Bor“, „Premiant“ a „Rubín“ [12]. Odrůda „Premiant“ je kříženec hybridního typu. Aroma není tak silné jako u ostatních žateckých odrůd. Užitím této odrůdy při chmelení piva se dosahuje neutrální hořkosti. Nezanedbává

nepříjemnou ulpívající hořkost v ústech po napití piva. Pro tuto vlastnost je velice oblíbená [26]. Chmele těchto odrůd vykazují většinou obsah  $\alpha$ -hořkých kyselin okolo 8 %, podíl kohomulonu okolo 30 % a podíl farnesenu do 2 %. Předností hořkých odrůd je relativně vysoký obsah látek, které jsou zdrojem hořkosti, a u některých z nich („Premiant“) i velmi příznivé aroma. Proto jsou někdy označovány jako „semiaroma“ (poloaromatické) či „dual purpose“ (dvouúčelové) odrůdy, a nacházejí široké uplatnění v pivovarském oboru.

#### 4. Vysokoobsažné

Zahrnuje hybridní odrůdy s vysokým obsahem  $\alpha$ -kyselin od 12–17 %. Tyto odrůdy se vyznačují ostrou vůní a odlišným aroma. Jsou používány především k výrobě chmelových extraktů [9]. Do této skupiny se řadí především zahraniční odrůdy „Target“, „Magnum“, „Taurus“, „Herkules“, „Colombus“ a z českých odrůd „Agnus“ [15].

tabulka 3: Obsah a složení chmelových pryskyřic, silic a polyfenolů českých odrůd chmele (stanoveno metodou HPLC ve 100 % sušině) [12].

Složka	ŽPČ	Sládek	Harmonie	Bor	Premiant	Agnus
celkové pryskyřice (% hmot.)	13-20	17-24	22-26	18-25	19-25	26-32
$\alpha$ -hořké kyseliny (% hmot.)	3,0-6,0	4,8-8,0	4,0-8,0	6,5-11,0	7,0-11,0	11,0-15,0
$\beta$ -hořké kyseliny (% hmot.)	4,5-8,0	3,5-8,0	4,0-8,0	3,5-6,0	3,5-6,0	5,0-8,0
poměr $\alpha/\beta$	0,60-0,9	0,70-1,30	0,80-1,20	1,60-2,30	1,70-2,30	1,90-2,60
kohomulon (% rel.)	23-26	25-31	19-22	22-27	18-23	29-38
kolupulon (% rel.)	39-43	45-51	36-40	43-48	39-44	51-59

<b>Chmelové polyfenoly</b>						
celkové polyfenoly ( % hmot.)	4,5-6,0	3,0-4,0	2,7-3,5	3,0-4,0	3,0-4,0	2,5-3,5
xanthohumol ( % hmot.)	0,30-0,50	0,50-0,75	0,40-0,70	0,40-0,60	0,30-0,50	0,80-1,10
<b>Chmelové silice</b>						
Hmotnost (g/100g)	0,4-1,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0
myrcen ( % rel.)	25-40	40-50	30-40	40-55	35-45	40-55
linalool ( % rel.)	0,4-0,8	0,2-0,4	0,9-1,4	0,2-0,4	0,4-1,0	0,4-0,8
2-undekanon ( % rel.)	0,3-0,8	1,0-2,0	1,0-2,0	0,5-1,5	0,7-1,5	1,2-1,6
methyl-4-deceonát ( % rel.)	0,9-1,5	1,0-2,0	1,0-1,8	0,9-1,7	1,0-1,7	1,6-2,1
$\beta$ -karyofylen ( % rel.)	6-9	8-13	6-11	7-12	7-13	9-13
$\alpha$ -humulen ( % rel.)	15-25	10-20	20-31	25-35	25-35	15-22
$\beta$ -farnesen (% rel.)	14-20	pod 1	pod 2	pod 1	1-3	pod 0,2
selineny %	0,5-1,5	0,5-1,5	10-19	pod 1,0	0,5-1,5	1,5-3,0

Obrázek 18: „Žatecký poloraný červeňák“, „Bor“ a „Sládek“ [33]



Obrázek 19: „Premiant“, „Agnus“ a „Harmonie“ [33]



Obrázek 20: „Rubín“ [33]





## Chmelové výrobky

Chemická nestabilita, relativně nízká účinnost využití nejdůležitějších chmelových složek při výrobě piva, vysoké nároky na skladovací podmínky a obtížná manipulovatelnost s hlávkovým chmelem byly hlavní motivací postupného vývoje různých typů chmelových výrobků [12]. V současné době lze tržně dostupné chmelové výrobky podle způsobu výroby rozdělit do tří základních skupin:

### 1. Výrobky připravené mechanickými úpravami hlávkového chmele

Do této skupiny patří především mleté a granulované chmele, bez nebo se standardizovaným obsahem  $\alpha$ -hořkých kyselin. Nejrozšířenějšími výrobky této skupiny jsou granulované chmele různého typu [15], podle stupně zkoncentrování hořkých kyselin [12]. Ze všech chmelových výrobků představují výrobky, jejichž charakter je nejbližší původnímu zpracovanému chmelu [15].

### 2. Výrobky připravené fyzikálními úpravami přírodního hlávkového chmele

Do této skupiny patří nemodifikované chmelové extrakty připravené pomocí různých rozpouštědel. Jejich vývoj se ustálil na extraktech vyráběných ekologicky nezávadnými rozpouštědly, především ethanolem a oxidem uhličitým [12].

### 3. Výrobky připravené chemickými úpravami

Do této skupiny chmelových výrobků patří chemicky upravený celý hlávkový chmel nebo, a to mnohem častěji, jeho jednotlivé složky, zejména  $\alpha$ -hořké kyseliny předem separované zpravidla ve formě extraktu nebo výluhu [15]. Jejich předností je mnohem vyšší míra využití  $\alpha$ -hořkých kyselin v pivovarském procesu a větší chemická stabilita.

Jednotlivé preparáty se liší složením, mírou využitelnosti, ale i chuťovými vlastnostmi. Právě proto je důležité jejich správné dávkování v závislosti na množství a čase [12]. Nomenklatura jednotlivých chmelových výrobků není dosud konvenčně ustálena a většina výrobků je známá spíše pod tradičními či obchodními názvy [15].

### 3 VÝROBA SLADU

Cílem sladování je vyrobit řízeným procesem klíčení a hvozdění z ječmene slad, obsahující potřebné enzymy a aromatické i barevné látky nezbytné pro výrobu určeného druhu piva.

Principem sladování je vytvoření optimálních podmínek pro klíčení ječmene, přičemž dochází v zrně k aktivaci a tvorbě technologicky důležitých enzymů, především cytolýtických, proteolytických a amylolytických, při zamezení ztrát při potlačení růstu. Tím vzniká zelený slad, který se následným hvozděním, při kterém se působením zvýšené teploty vyvolají chemické reakce tvorby aromatických a barevných látek, přemění v hotový slad.

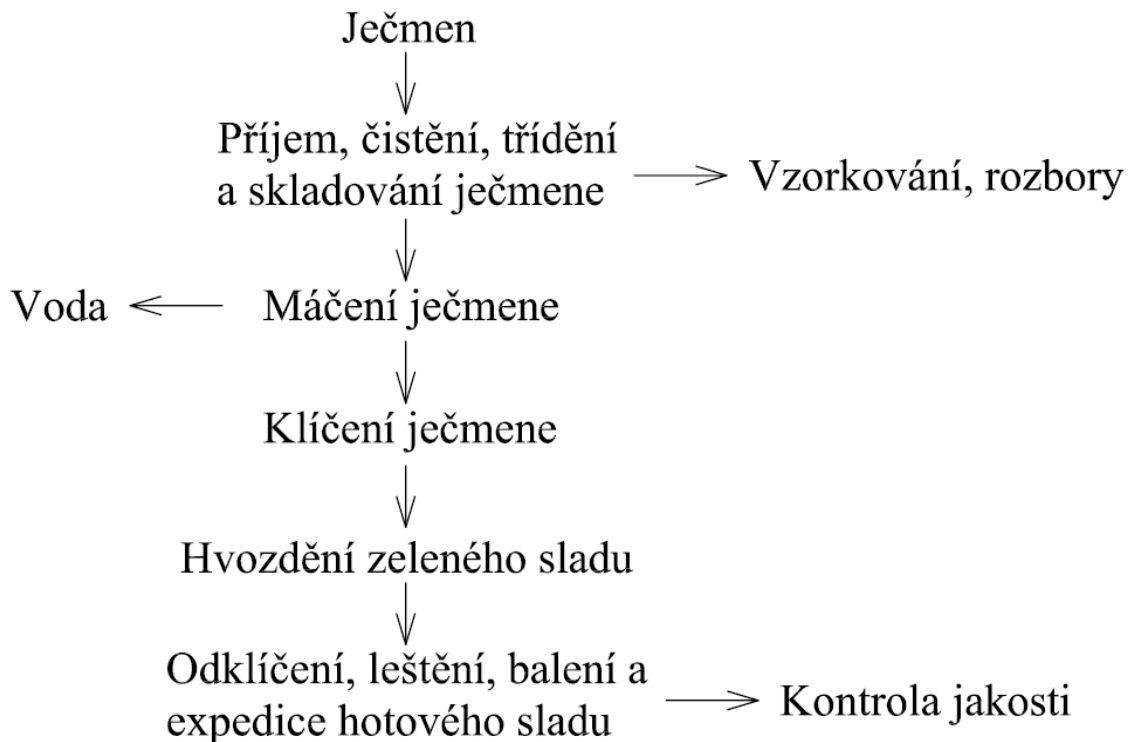
#### 3.1 Slad

Základní surovinou pro výrobu piva je slad, který se vyrábí naklíčením a hvozděním sladovnického ječmene ve sladovnách. Pro výrobu sladu a sladových výtažků se u nás pěstují vybrané odrůdy jarního ječmene (*Hordeum Vulgare*), které patří k nejkvalitnějším odrůdám na světě. Podle vhodnosti pro sladařský průmysl jsou odrůdy sladovnického ječmene zařazeny do tří skupin – výběrová, standardní a nestandardní.

U sladovnického ječmene se posuzují nejen pěstitelské vlastnosti, ale zejména sladařské vlastnosti, tj. chemické složení a vhodnost pro výrobu sladu [13]. Rozhodujícími ukazateli kvality sladovnického ječmene jsou klíčivost a energie klíčení. Nízká klíčivost ovlivňuje negativně průběh sladovacího procesu. Nedostatečná klíčivost ječmene se projevuje ve špatně rozluštěném sladu a ovlivňuje prakticky všechny kvalitativní parametry sladu. Vedle energie klíčení je důležitým ukazatelem i rychlost klíčení [15].

Dobrá klíčivost ječmene, snadná zpracovatelnost, vhodné chuťové vlastnosti byly příčinou, že se nerozšířilo sladování jiných obilnin. V současné době se kromě ječmene sladuje pouze menší množství pšenice. Vliv sladu na jakost piva je všeobecně známý. Některé vlastnosti sladu, jako barva, chuť a vůně, rozhodují přímo o typu piva, jiné, jako složení extraktivních látek, stupeň rozštěpení bílkovin, významně ovlivňují jakost piva. Ječmen určený ke skladování musí být zdravý, určitou dobu skladovaný, tj. odleželý, aby se jeho vlastnosti vyrovnaly. Musí být pečlivě zesladován a odsušen. Každý nedostatek v surovině a ve sladovacím procesu se nepříznivě odráží v jakosti sladu [22]. Cílem sladování je vyrobit řízeným procesem klíčení a hvozdění z ječmene slad, obsahující potřebné enzymy a aromatické i barevné látky nezbytné pro výrobu určeného druhu piva [15].

Bez zřetele na výrobní postup a typ výrobních zařízení lze výrobu sladu rozdělit na několik základních úseků, jak ukazuje následující schéma [13]:



### 1. Příjem, čištění, třídění a skladování ječmene

Účelem příjmu, čištění, třídění a skladování ječmene je zajištění podmínek pro uskladnění ječmene bez prachu a cizích příměsí a vytríděného nejen podle velikosti zrna, ale též podle odrůd a jakosti. Čištění a třídění ječmene se provádí pro zbavení ječmene prachu, nečistot a přímísenin a roztřídění podle velikosti a kvalitativních znaků.

### 2. Máčení ječmene

Cílem máčení je zvýšení obsahu vody v ječném zrně z 12 až 15 % na 42 až 48 %. Tím vzniknou podmínky pro klíčení zrna a syntézu a aktivaci biokatalyzátorů - enzymů. Dosažený obsah vody v namočeném ječmeni se nazývá stupeň domočení a liší se podle typu vyráběného sladu.

Přijímání vody ječným zrnem je na začátku máčení, během prvních 4 až 8 hodin nejrychlejší a postupně se zpomaluje. Při výrobě světlých sladů se stupeň domočení volí na 41 až 45 %, při výrobě tmavých sladů 45 až 48 %.

Příjem vody ječným zrnem ovlivňuje teplota vody, velikost zrna, přístup kyslíku, chemické složení máčecí vody a technologie máčení. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím máčení je kyslík. S přibývajícím obsahem vody začíná zrno dýchat, spotřebovává kyslík a vytváří oxid uhličitý. Při spotřebování kyslíku a přílišném hromadění oxidu uhličitého přechází normální dýchání v molekulární anaerobní dýchání spojené s kvašením a jeho metabolity (ethanol aj.) mohou poškodit klíček. Za dostatečného přístupu vzduchu se naopak doba máčení zkracuje.

### 3. Klíčení ječmene

Cílem sladařského klíčení ječmene je aktivace a tvorba enzymů a dosažení požadovaného stupně rozluštění při omezení ztrát vegetací. Dosahuje se toho umělým modelováním podmínek přirozeného klíčení vhodnou teplotou, vláhou a přístupem kyslíku. Řízení klíčení ječmene ve sladovně se nazývá vedení hromad a liší se podle druhu vyráběného sladu, technického vybavení sladovny a kvality zpracovávaného ječmene. Klíčení je fyziologický proces, při kterém se v zárodečné části zrna vyvíjejí zárodky kořínků a listů za využití zásobních látek z endospermu. Současně se mění i vnitřní znaky zrna. Působením enzymů se štěpí rezervní látky a zvyšuje se rozpustnost a leštitelnost endospermu odspodu a od stran nahoru a doprostřed. S procesem klíčení je přímo spjata aktivace a tvorba enzymů, z nichž mají největší technologický význam fosfatasy, cytasy, proteasy a hlavně amylasy.

Průběh všech enzymových reakcí při klíčení je ovlivňován zejména stupněm domočení ječmene, teplotou v hromadě a přístupem kyslíku ke klíčícím zrnům. Obsah vody v ječmeni ovlivňuje rychlost transportu rezervních látek a enzymů. Při nízké vlhkosti zrno klíčí pomalu až zavadá, kdežto nadbytek vláhy způsobuje přílišné zahřívání hromad, přelustění a vyšší sladovací ztráty. Teplota obecně ovlivňuje průběh všech enzymových reakcí. Optimální podmínky pro sladařské klíčení ječmene jsou při 14-18°C v hromadě a liší se podle druhu vyráběného sladu. Důležitý je přístup kyslíku ke klíčícímu zrnům, aby bylo zajištěné dostatečně intenzivní dýchání zrna. Oxid uhličitý, který vzniká při klíčení, brzdí aerobní dýchání a mohl by je úplně zastavit. Proto se v počátečních stádiích klíčení musí hromady často předělávat, přehazovat nebo provětrávat, aby se vznikající oxid uhličitý vyvětral. Ke konci klíčení a zejména při výrobě tmavých sladů se větrá jen mírně, aby se dýchání pozvolna zastavilo a snížily se tak ztráty prodýcháním.

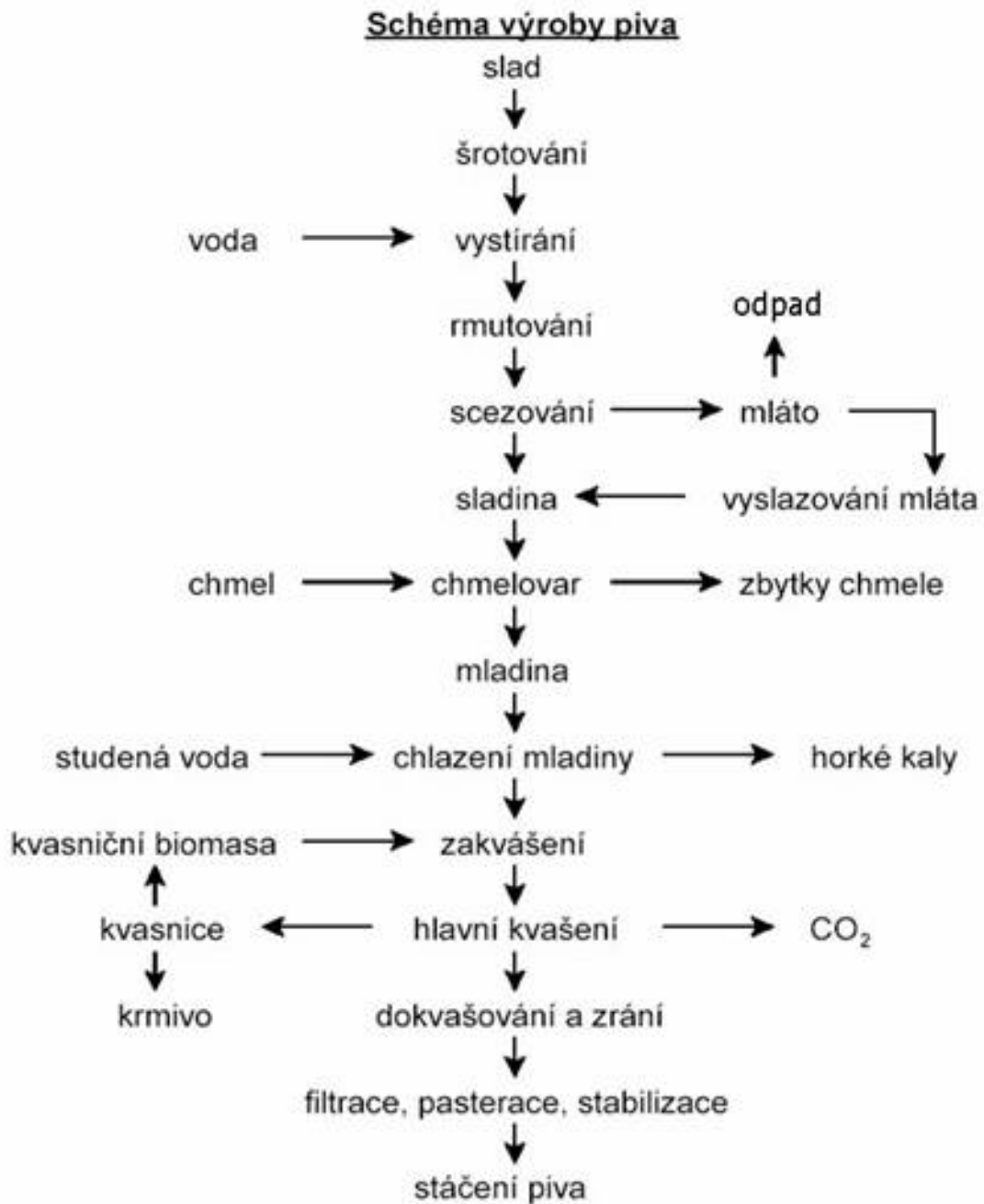
Klíčení sladovnického ječmene klasickým způsobem se provádí na humnech, což jsou hladké podlahy v prostorných místnostech s účinným větráním. Hromada klíčícího ječmene vykazuje při klíčení charakteristická stádia nazývaná tradičně mokrá hromada, suchá hromada, pukavka, mladík, vyrovnaná a sejmutá hromada.

Zelený slad je konečný produkt klíčení ječmene. Při výrobě světlého sladu má mít zdravou vůni, mírně zavadlé kořínky, správně vyvinutou stříčku a má být dobře rozluštěn (endosperm rozetřený mezi prsty má být suchý, ne tvrdý nebo matlavý). Podle vývinu stříčky se rozeznávají krátké slady (stříčka do 1/3-1/2 délky zrna), zpravidla nedoluštěné, a dlouhé slady (stříčka nad 3/4 délky zrna), vhodné pro výrobu tmavých sladů.

#### 4. Hvozdění sladu

Cílem hvozdění je snížení obsahu vody ve sladu pod 4 %, zastavení vegetačních pochodů při zachování požadované enzymové aktivity a vytvoření chuťových, barevných a oxidoredukčních látek, tvořících charakter sladu. Toho se dosáhne řízeným a šetrným sušením při teplotách 60 až 80° C. K nejdůležitějším reakcím při hvozdění patří tvorba chuťových (aromatických) a barevných (oxidoredukčních) látek. Tyto látky tvoří charakter sladu, jeho vůni, chuť, barvu a oxidoredukční schopnosti. Právě jmenované látky vznikají při vyšších teplotách interakcemi štěpných produktů polysacharidů a bílkovin, tedy monosacharidů a aminokyselin. Řada chemických přeměn, zvaných Maillardovy reakce, vede od výchozích hexos a aminokyselin přes několik meziproductů nejprve k reduktonům a dále až k tvorbě melanoidinů. Bezdušičaté barevné a aromatické látky vznikají při hvozdění karamelizací sacharidických složek při termickém štěpení cukrů, enzymovou oxidací za vzniku melani-  
nů a neenzymatickým hnědnutím (komplexy polyfenolů a železa). Pro dostatečnou tvorbu těchto látek je nezbytným předpokladem hluboké rozštěpení polysacharidů a bílkovin během klíčení ječmene. Tyto látky mají oxidoredukční vlastnosti, čímž zlepšují koloidní stabilitu a nakonec svým zabarvením vytvářejí typickou barvu sladu a z něho vyrobeného piva. Technologie hvozdění se upravuje podle druhu vyráběného sladu, podle obsahu vody v zeleném sladu a podle typu hvozdu [13].

Obrázek 21: Schéma výroby piva [28]



## 4 VÝROBA PIVA

Pivo je dle Vyhlášky MZe Č.R. č. 335/1997 Sb. pěnivý nápoj vyrobený zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele, upraveného chmele nebo chmelových produktů, který vedle kvasným procesem vzniklého alkoholu (ethylalkoholu) a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu. Slad lze do výše jedné třetiny hmotnosti celkového extraktu původní mladiny nahradit extraktem cukru, obilného škrobu, ječmene, pšenice nebo rýže [29]. Pivo je čiré až slabě opalizující, s ojedinělými vlákny filtrační hmoty. Zákal vzniklý podchlazením piva, který se jeho zahřátím odstraní, není na závadu. Požadavek na čirost a zákal se nevztahuje na kvasnicové pivo, které je vždy kalné. Kvalita piva je závislá na čtyřech hlavních faktorech: sladový ječmen, chmel, kvasnice a voda.

### Druhy piva:

Pivo se vyrábí ve třech typech: světlé, tmavé a polotmavé. V těchto typech se rozeznávají piva konzumní a výčepní, ležáky, portery a účelová neboli speciálně upravená piva [30].

Technologii výroby piva lze rozdělit na tři hlavní technologické procesy:

1. výroby mladiny ze sladu, chmele a vody, popř. za použití surogátů
2. kvašení mladiny a dokvašování mladého piva pivovarskými kvasinkami
3. závěrečné úpravy a stáčení zralého piva do transportních nádob a obalů

### 4.1 Výroba mladiny

Výroba mladiny sestává z následujících technologických úseků: šrotování sladu, vystírání sladového šrotu do vody, rmutování, scezování sladiny a vyslazování sladového mláta, chmelovar a chlazení mladiny. Škrob obsažený ve sladu je nutno převést do roztoku, aby jej sladové enzymy mohly přeměnit ve směs nízkomolekulárních sacharidů, které později zkvasí na etanol a oxid uhličitý. Slad se nejprve rozšrotuje, poté se smísí s vodou při vystírání a následuje rmutování, při čemž v důsledku enzymových reakcí dochází ke zcukřování cukrů. Většina těchto pochodů probíhá při vyšších teplotách, které mají být optimální pro činnost enzymů, které způsobují rozštěpení a převedení optimálního podílu extraktu ze surovin do roztoku. Rozhodující je činnost amylolytických, proteolytických a kyselinotvorných enzymů. Část extraktu se získá již při vystírání, hlavní podíl se však získá až při rmu-

tování, kdy se vstírka vyhřívá postupně na teploty optimální pro činnost jednotlivých skupin enzymů.

Nejdůležitější chemickou reakcí při rmutování je štěpení škrobu na nízkomolekulární cukry, zejména glukosu, maltosu a dextriny.

#### 4.1.1 Šrotování

Šrotování je mechanické drcení sladového zrna s cílem dokonalého vymletí endospermu při zachování celistvosti pluch, které dále slouží jako filtrační materiál při scezování [13]. Jemnost šrotování přímo ovlivňuje činnost sladových enzymů, neboť čím jemnější je šrot, tím lepší je přístup enzymů k jednotlivým částem sladu. Na druhé straně příliš jemný šrot způsobuje ucpávání filtračních kanálků ve vrstvě mláta a způsobuje potíže při scezování [15].

#### 4.1.2 Vystírání

Vystírání je smíchání sladového šrotu příp. sladových náhražek s vodou. Objem vody použité k vystírce se nazývá nálev a množství použitého sladu se nazývá sypání. U dobře rozluštěných sladů se vystírá při teplotách 35 až 38° C nebo při 50 až 52° C u špatně rozluštěných sladů.

#### 4.1.3 Rmutování

Rmut je roztok sladu (nebo jiných obilovin) a vody [30]. Rmutování slouží k přípravě sladiny s požadovanou extraktovou skladbou [13]. Menší část extraktu 15 až 17 % je přímo rozpustná a při rmutování se vylouží do vody pouhým účinkem míchání a zvýšené teploty, větší část vysokomolekulárních látek obilního endospermu je možno převést do roztoku až po jejich rozštěpení katalyzovaném sladovými enzymy [22]. Při rmutování tak pokračuje část biochemických dějů započatých při klíčení sladu.

Volbou vhodných podmínek rmutování, zejména teplotního průběhu, ovlivňujeme působení enzymů tak, aby se dosáhlo optimálního složení sladiny. Základním požadavkem všech rmutovacích postupů je převést do roztoku veškerý škrob i vhodný podíl bílkovin a dalších látek [15].



#### 4.1.4 Scezování

Scezování je proces, při němž oddělujeme sladový extrakt (sladinu) od pevného podílu zcukřeného rmutu tj. mláta [13]. V první fázi scezování se s využitím filtrační vrstvy mláta oddělí hlavní podíl v suspenzi zadržené sladiny, tj. předku, ve druhé fázi se mláto promyje horkou vodou. Promytím se získá zředěná sladina zvaná výstřelky. Jakmile dosáhne celkový objem předku a výstřelků požadované hodnoty, scezování se ukončí. Získaný objem sladiny pohromadě se dále zpracuje při chmelovaru [15].

#### 4.1.5 Chmelovar

Vařením sladiny s chmelem se získá mladina jakožto meziprodukt, který se dále zpracovává na pivo kvašením [22]. Chmelovar má za cíl převedení hořkých látek chmele do mladiny, sterilaci mladiny, inaktivaci enzymů a koagulaci bílkovin s polyfenolovými látkami sladu a chmele. Při chmelovaru vznikají intenzivně hořké produkty zvané iso- $\alpha$ -hořké kyseliny, dále probíhají Maillardovy reakce a denaturace sladových bílkovin [13].

##### 4.1.5.1 Fyzikálně – chemické změny při chmelovaru

###### 1. Odpaření přebytečné vody

Dokonalé vyslazení mláta vyžaduje určitý přebytek vyslazovací vody. Jeho odpařením při chmelovaru se získá mladina požadované koncentrace. Chmelovar má být intenzivní a dostatečně dlouhý. Celkový odpar má být v rozmezí 8 až 10 % a doba varu 90 – 120 minut.

###### 2. Inaktivace enzymů a sterilace mladiny

Všechny enzymy jsou inaktivovány již při ohřevu sladiny do varu a mikroorganismy zničeny při pH 5,3 – 5,7, po 15 minutách varu.

###### 3. Pokles hodnoty pH a nárůst barvy

V průběhu chmelovaru klesá hodnota pH o 0,15 – 0,25. Je to způsobeno především tvorbou melanoidinů, v menší míře též reakcí vápenatých a hořečnatých solí a chmelovými hořkými kyselinami. Tento přirozený pokles pH příznivě ovlivňuje koagulaci bílkovin.

###### 4. Tvorba produktů tepelného rozkladu

Se vzrůstajícím tepelným zatížením při hvozdění, rmutování a chmelovaru se zvyšuje koncentrace látek, které se souhrnně označují jako produkty Maillardovy reakce. Protože tyto

produkty jsou prekurzory staré chuti piva, je žádoucí tepelné zatížení mladiny vhodným způsobem monitorovat.

#### 5. Tvorba redukujících látek

Při chmelovaru vznikají látky, které pro jejich redukční účinky nazýváme reduktory. Váží kyslík a chrání tak další složky extraktu hotového piva proti oxidaci. S rostoucím obsahem reduktorů se zvyšuje koloidní a chuťová stabilita piva.

#### 6. Koagulace bílkovin a tvorba lomu

Vyloučení vysokomolekulárních bílkovin a tvorba lomu jsou jedním z nejdůležitějších pochodů při chmelovaru. Průhledná sladina se po zahájení varu zakalí a při pokračujícím varu se začnou vylučovat jemné vločky, které se spojí do objemných shluků označovaných jako lom mladiny. Koagulace bílkovin probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k denaturaci, ale bílkoviny zůstávají ještě rozpustné. V druhé fázi nastává vlastní koagulace, tj. srážení bílkovin do viditelných složek.

#### 7. Reakce účinných složek chmele s mladinou

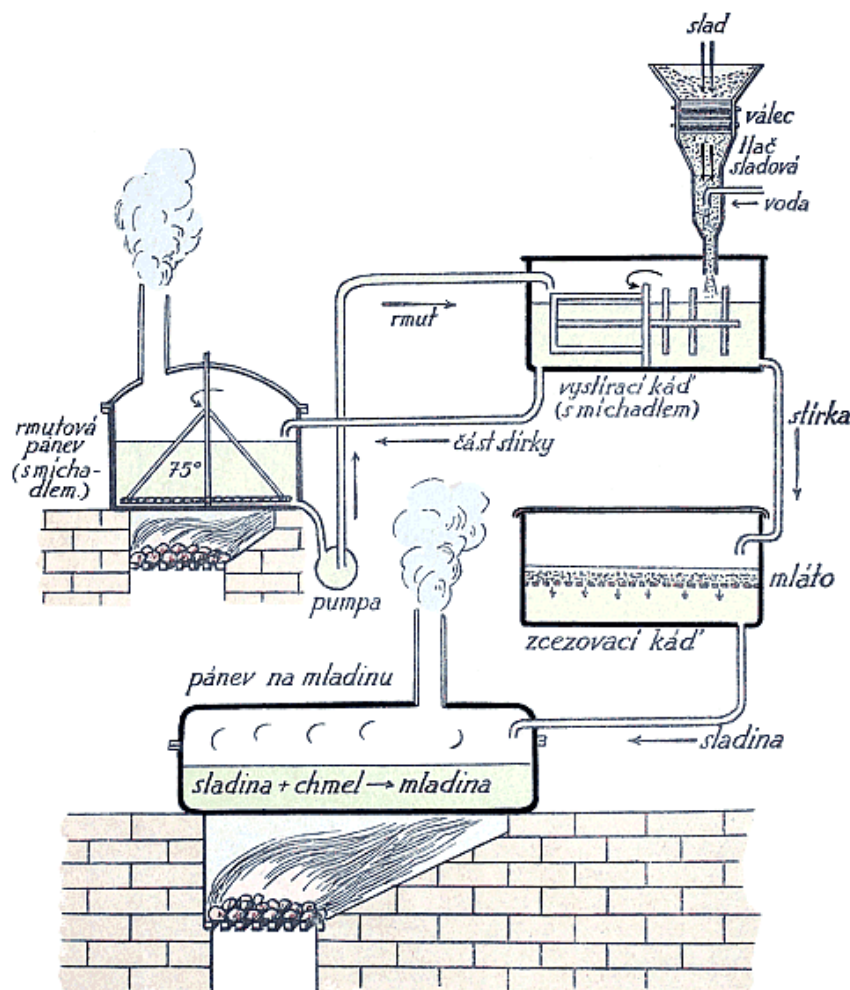
Chmel propůjčuje mladině hořkou chuť, chmelové aroma a podporuje vylučování bílkovin.

- Hořké látky jsou základní účinnou složkou chmele. Jejich rozpouštění ve vroucí mladině je významně ovlivněno hodnotou pH. Nejvíce hořkosti udílí pivu  $\alpha$ -hořké kyseliny (humulony), které při varu mladiny částečně izomerizují. Izomeraci podporuje vyšší teplota při tlakovém varu a vyšší pH mladiny. Hořkost piva je dána především zbývajícím podílem isohumulonů a částečně  $\beta$ -měkkými a tvrdými pryskyřicemi.
- Chmelové polyfenoly udílejí pivu drsnou hořkost a zhoršují jeho koloidní stabilitu.
- Neoxidované chmelové silice se významně podílejí na aromatu piva. Aroma chmele ovlivňuje zejména myrcen a linalool. Čím pozdější je dávka aromatického chmele, tím větší zbytkový podíl silic zůstává zachován v mladině a pivu [15].

#### 4.1.6 Chlazení mladiny

Po chmelovaru následuje oddělení zbytků chmele a následuje chlazení mladiny na zákvasnou teplotu 5 až 7° C. Koncentrace extraktivních látek v mladině musí odpovídat vyráběnému pivu, tzn., že při výrobě 10 % piva musí obsahovat 10 % hm. extraktovaných látek. Pro výrobu světlých piv se připravují mladiny ze světlých sladů, pro výrobu tmavých piv ze směsi světlých, tmavých a barevných sladů.

Obrázek 22: Postup při vaření piva (práce ve varně) [31].



#### 4.2 Kvašení mladiny a dokvašování mladého piva

Pro kvašení se používají buď svrchní pivovarské kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae*) při teplotě až 24° C, nebo spodní pivovarské kvasinky (*Saccharomyces uvarum*) při teplotách kvašení 6 až 12° C. Kvašení mladiny je při klasické technologii rozděleno do dvou fází, na hlavní kvašení a dokvašování.

#### 4.2.1 Hlavní kvašení

Hlavní kvašení probíhá většinou v otevřených kvasných kádích [13] a u nás se provádí spodními pivovarskými kvasinkami [22]. Při kvašení dochází k přeměně zkvasitelných sacharidů (glukosy, maltosy a maltotriosy) na ethanol a oxid uhličitý anaerobním kvašením. Současně se v malé míře tvoří i vedlejší kvasné produkty - alifatické alkoholy, aldehydy, diketony, mastné kyseliny a estery. Všechny tyto látky a jejich vzájemný poměr spolu vytváří chuť a aroma piva [13].

#### 4.2.2 Dokvašování

Dokvašování a zrání mladého piva se provádí v ležáckém sklepě [22], kde pivo při teplotách 1-3°C velmi pozvolna dokváší, číří se, zraje a sytí se pod tlakem vznikajícího oxidu uhličitého v uzavřených ležáckých tancích. Doba ležení je závislá na typu piva. U běžných piv do koncentrace 10 % bývá tři týdny, pro speciální exportní piva se zvyšuje až na několik měsíců [13]. Velmi důležité při dokvašování piva je čiření, které ovlivní průběh filtrace, pěnivost piva, chuť piva a koloidní stabilitu [15].

#### 4.2.3 Jednofázové kvašení

Při něm probíhá hlavní kvašení i dokvašování v jedné nádobě, obvykle cylindrokónických velkoobjemových tancích, představuje nejmodernější technologii pivovarského kvašení s velkými nároky na dodržování technologického postupu i na hygienu a sanitaci, ale s výraznými ekonomickými přednostmi [13].

### 4.3 Závěrečné úpravy piva

Dokonalé vyzrálé pivo se musí ještě zfiltrvat, případně pasterovat či stabilizovat a nakonec se stáčí do transportních obalů.

#### 4.3.1 Filtrace

Filtrace piva se nejčastěji provádí na křemelinových a deskových filtrech různé konstrukce. Křemelina je jemný prášek vyrobený rozemletím organismů, které před miliony let obývaly sladkovodní moře [32]. Pro dosažení vysoké biologické stability se používají i tzv. EK-filtry, kde je pivo filtrováno přes desky obsahující zvýšený podíl dlouhovláknitého azbestu. Výjimečně se používají i odstředivky. Nejmodernějším, ale dosud velmi nákladným způso-

bem, je membránová filtrace [13]. Cílem filtrace je upravit pivo před stáčením tak, aby se po dobu několika měsíců nezměnila jeho čírost v transportním obalu, který byl vhodným způsobem skladován [15].

#### 4.3.2 Pasterace

Používá se pro zvýšení biologické stability piva [13]. Rozšířená je zejména pasterace piva v lahvích či plechovkách a v ponorných tunelových pastérech při teplotě 62° C, méně častá je mžiková pasterace v průtokových pastérech při vyšší teplotě [22].

#### 4.3.3 Stabilizace

Stabilizace piva se provádí u exportních piv, kdy je nezbytné zaručit mnohaměsíční trvanlivost. Principem pasterace je odstranění prekurzorů zákalů piva. Především vysokomolekulárních dusíkatých látek, polyfenolů, kovových iontů a rozpuštěného kyslíku. Používají se stabilizátory srážecí (tanin), adsorpční (silikagel, polyvinylpolypyrrolidon), enzymové (papain) a antioxidační (kyselina askorbová). Použití stabilizátorů je v některých zemích omezeno zákonnými předpisy. Stabilizátory se do piva přidávají nejčastěji před koncem dokvašování, aby se případně vyloučené látky odstranily při filtraci.

Stáčení piva do transportních obalů je konečnou fází výroby. U nás se pivo stáčí do cisteren pro dislokované stáčírny a pro export, do sudů, lahví a plechovek pro vnitřní obchodní síť i pro export. Při stáčení je nutné zamezit ztrátám oxidu uhličitého, aby neutrpěla kvalita piva. Dalším požadavkem je nutnost zamezení styku piva s kyslíkem a proto se v moderních linkách stáčí pivo pod tlakem oxidu uhličitého do obalů předplněných oxidem uhličitým. Neméně důležitým požadavkem je zajištění dokonalé sanitace všech zařízení, která přicházejí do styku s pivem [13].

## ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat rostlinu chmel otáčivý (*Humulus Lupulus* L.). Zejména jsem se zaměřila na technologicky významné látky. Chmel je dnes plodina, která se využívá ke kořenění piva. V historii se k tomuto účelu využívala celá řada rostlin (např. bedrník). Nicméně v celém světě se používá chmel.

Ve své práci uvádím technologicky nejvýznamnější chemické látky chmelových šištic. K těm patří zejména chmelové pryskyřice, silice a polyfenoly. Chmelové pryskyřice jsou původci hořké chuti piva a jsou tvořeny  $\alpha$ ,  $\beta$ -hořkými kyselinami. Rozdíl mezi  $\alpha$ ,  $\beta$ -hořkými kyselinami spočívá zejména v tom, že při chmelovaru dochází k izomeraci  $\alpha$ -hořkých kyselin na iso-  $\alpha$ -hořké kyseliny. Tyto látky jsou rozpustné ve vodě a jsou hlavním zdrojem hořkosti piv. Přibližně 10 % celkové hořkosti piva pochází z transformačních produktů  $\beta$ -hořkých kyselin. Chmelové silice jsou nejdůležitější skupinou látek odpovědných za aroma chmele. Jsou přítomny v lupulinových zrnech chmelové hlávky. Při chmelovaru větší část chmelových silic uniká a asi jen  $\frac{1}{4}$  přechází do mladiny a dále do piva, kde přispívá spolu s produkty kvašení k vytváření charakteristické vůně. Chmelové polyfenoly neboli tříslovinny zahrnují jednoduché fenolové kyseliny např. kyselinu gallovou a jejich deriváty, dále polycyklické struktury nazývané flavonoidy.

Pivo je jedno z nejtradičnějších potravinářských surovin v České republice. I z toho důvodu se u nás věnovala značná pozornost šlechtění chmele. Z našeho území pochází „Žatecký poloraný červeňák“, který je v celém světě poptáván, protože dodává pivu příjemnou a vyrovnanou chuť a vůni. Je velmi bohatý na polyfenoly. Vyrovnaný poměr alfa a beta hořkých látek způsobuje spolu s jedinečným obsahem chmelových silic nenapodobitelný charakter chuti piva.

Hlavním cílem mé práce bylo zaměřit se na polyfenoly a ostatní aromaticky významné látky chmele, včetně jejich vlastností.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Michalec Z., 1977, Člověk a rostliny, Práce, Praha, 272 s.
- [2] Domin K., Podpěra J., 1928, Klíč k úplné květeně Č. S. R., Olomouc, R. Promberger, 1084 s.
- [3] Kubát K., 2002, Klíč ke květeně České republiky, Academia, Praha, 927 s., ISBN 80-200-0836-5
- [4] Henschel D., 2004, Plané rostliny k jídlu, Granit s. r. o., Praha, 253 s., ISBN 80-7296-033-4
- [5] Klika J., 1965, Klíč k určování rostlin, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 584 s.
- [6] Pilát A., Ušák O., 1960, Atlas rostlin, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 77 s.
- [7] Jürke G., Jung R., Munker B., 1983, Bobulovité, užitkové a léčivé rostliny, Knižní klub, Praha, 287 s.
- [8] Randuška D., Šomšák L., Háberová I., 1983, Barevný atlas rostlin, Obzor, Bratislava, 640 s.
- [9] Starý F., 2006, Rostliny, AVENTIUM s. r. o., Praha, 275 s., ISBN 80-86858-24-3
- [10] Lhotská M., Kropáč Z., Maget J., 1985, Kapesní atlas semen, plodů a klíč-ních rostlin, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 548 s. ISBN 14-120-85
- [11] Deyl M., 1980, Naše květiny I, Albatros, Praha, 307 s.
- [12] Prugar J., 2008, Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí, Výzkum-ný ústav pivovarský a sladařský, Praha, 327 s., ISBN 978-80-86576-28-2
- [13] Rop. O., Hrabě J., 2009, Nealkoholické a alkoholické nápoje, UTB, Zlín, 129 s., ISBN 978-80-7318-748-4
- [14] Špaldon E., 1986, Rostlinná výroba, SZN, Praha., 720 s.

- [15] Kosář K., Procházka S., 2000, Technologie výroby sladu a piva, VÚPS, Praha, 398 s., ISBN 80-902658-6-3
- [16] Novák F. A., 1981, Velký obrazový atlas rostlin, ARTIA, Praha, 590 s.
- [17] Duke A. James., 2006, Zelená lékárna, Parsons/Walton/Press, Praha, 576 s., ISBN 80-86880-23-0
- [18] Kulan M., 2001, Nový atlas léčivých rostlin, Příroda, s. r. o., Bratislava, 271 s., ISBN 80-07-00261-8
- [19] Korbelář J., Endris Z., 1974, Naše rostliny v lékařství, AVICEUM, Praha, 496 s.,
- [20] Větvíčka V., Broumovská A., Kratochvílová O., 2003, Bylinář, Fortuna print Praha, 286 s., ISBN 80-7321-091-6
- [21] Bruneton J., 1999, Pharmacognosy, Lavoisier, Paris, 1119 s., ISBN 2-7430-0316-2
- [22] Hlaváček F., Lhotský A., 1972, Pivovarství, SNTL, Nakladatelství technické literatury, n. p., Praha, 540 s.
- [23] Frančáková H., Tóth Z., 2005. Sladovnictví a pivovarníctví. Nitra, SPU, 147 s. ISBN 80-8069-544-X
- [24] <http://www.czhops.cz/index.php/cs/hop-polyphenols>. [online]. [cit.2010-15-04].
- [25] Novotný R., Nutriční vlastnosti piva Plzeňského typu, dostupný z WWW: <http://pivnistranky.sweb.cz/Hodnoty.htm>. [online]. [cit. 2010-04-05].
- [26] [http://www.bohemiahop.cz/cze/odrudy\\_chmele.html](http://www.bohemiahop.cz/cze/odrudy_chmele.html). [online]. [cit. 2010-03-15].
- [27] Časopis Kvasný průmysl, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, ročník 55/2009
- [28] <http://www.sci.muni.cz/mikrob/kvasbiotech/pivo/tradpiv.html>. [online]. [cit. 2010-03-23].
- [29] Vyhláška ministerstva zemědělství ČR. č. 335/1997 Sb., pro pivo (oddíl 3)



- [30] Kelblová M., 2006, Lexikon nápojů, Grada Publishing, Praha, 248 s., ISBN 80-247-1463-9
- [31] <http://mimozaclub.sweb.cz/index.htm?vyroba-piva.htm>. [online]. [cit. 2010-03-29].
- [32] Verhoef B., 1998, Encyklopedie piva, Rebo Productions, Praha, 304 s., ISBN 80-7234-012-3
- [33] [http://www.chizatec.cz/atlas\\_odrud\\_chmele.htm](http://www.chizatec.cz/atlas_odrud_chmele.htm). [online]. [cit. 2010-03-15].
- [34] Altová M., Situační a výhledová zpráva-chmel a pivo: červenec 2009. Praha: Odbor rostlinných komodit MZe ČR. 67 s. ISBN 978-80-7084-795-4. Dostupný z WWW:  
[http://eagri.cz/public/eagri/file/2752/CHMEL\\_7\\_\\_2009.pdf](http://eagri.cz/public/eagri/file/2752/CHMEL_7__2009.pdf). [online]. [cit. 2010-04-05].
- [35] Večerníček J., 2009, Dějiny piva od zrození až po konec středověku, Computer Press, a. s., Brno, 143 s., ISBN 978-80-251-2019-4
- [36] Mattioli A. P., 1562, Mattioliho herbář

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

např.	například
atd.	a tak dále
tzv.	takzvaný
ŽPČ	„Žatecký poloraný červeňák“
tj.	to jest
aj.	a jiné
MZe	Ministerstvo zemědělství
Č.R.	Česká republika

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Chmel otáčivý [6].....	11
Obrázek 2: Podzemní část chmele: a – nové dřevo, b – staré dřevo [14].....	13
Obrázek 3: Hlávka chmele: A – věténko, B – pestíkový květ, C- pravý listen, D – krycí listen, E – lupulinová žláзка, F – hlávka [14].....	15
Obrázek 4: Metylbutenol [21].....	16
Obrázek 5: Izomerace $\alpha$ -hořkých kyselin při chmelovaru [15] .....	18
Obrázek 6: Strukturní vzorec $\alpha$ -hořké kyseliny [15] .....	19
Obrázek 7: Strukturní vzorec $\beta$ -hořké kyseliny [15] .....	19
Obrázek 8: Humulon [21].....	20
Obrázek 9: Lupulon [21].....	20
Obrázek 10: Schéma dělení účinných chmelových látek [15].....	21
Obrázek 11: Chmelová hlávka žateckého poloraného červeňáku a její části [15].....	22
Obrázek 12: Xanthohumol [21] .....	23
Obrázek 13: Hlavní terpenické složky chmelových silic [15] .....	26
Obrázek 14: Karyofylen [15] .....	27
Obrázek 15: Myrcen [15].....	27
Obrázek 16: Farnesen [15].....	27
Obrázek 17: Humulen [15] .....	28
Obrázek 18: Žatecký poloraný červeňák, Bor a Sládek [33] .....	32
Obrázek 19: Premiant, Agnus a Harmonie [33].....	32
Obrázek 20: Rubín [33] .....	32
Obrázek 21: Schéma výroby piva [28] .....	38
Obrázek 22: Postup při vaření piva (práce ve varně) [31].....	43

**SEZNAM TABULEK**

tabulka 1: Taxonomická klasifikace chmele otáčivého [2].....	16
tabulka 2: Obsah jednotlivých polyfenolových složek v pivu [25].....	24
tabulka 3: Obsah a složení chmelových pryskyřic, silic a polyfenolů českých odrůd chmele [9].....	30

## SEZNAM PŘÍLOH

P I 10 největších vývozců piva v roce 2008 [34]

P II Vývoz piva podle druhu v roce 2008 [34]

P III Vývoz piva z ČR dle hlavních odběratelských zemí 2004 – 2008 [34]

P IV Největší pivovarské subjekty v roce 2008 [34]

P V Průměrná spotřeba piva v ČR v litrech na 1 obyvatele a rok [34]

P VI Vývoj spotřeby českého a zahraničního chmele v ČR [34]

P VII Nejstarší vyobrazení chmele [36]

## PŘÍLOHA P I: 10 NEJVĚTŠÍCH VÝVOZCŮ PIVA V ROCE 2008

### 10 největších vývozců piva v roce 2008

Podnik	Vývoz v tis. hl	% z výstavu podniku	% z celkového vývozu
Pižeňský Prazdroj, a.s.	881,96	10,06	23,80
Heineken Czech	858,65	31,06	23,17
Pivovary Staropramen, a.s.	718,39	21,87	19,39
Budějovický Budvar, n.p.	581,52	44,30	15,69
PMS Přerov, a.s.	100,56	10,82	2,71
MP Platan, s.r.o.	76,30	29,14	2,06
Bud. měšťanský pivovar, a.s.	71,82	48,51	1,94
Pivovar Bernard	23,38	12,43	0,63
Pivovar Č. Hora, a.s.	20,23	12,35	0,55

## PŘÍLOHA P II: VÝVOZ PIVA PODLE DRUHU V ROCE 2008

### Vývoz piva podle druhu v roce 2008

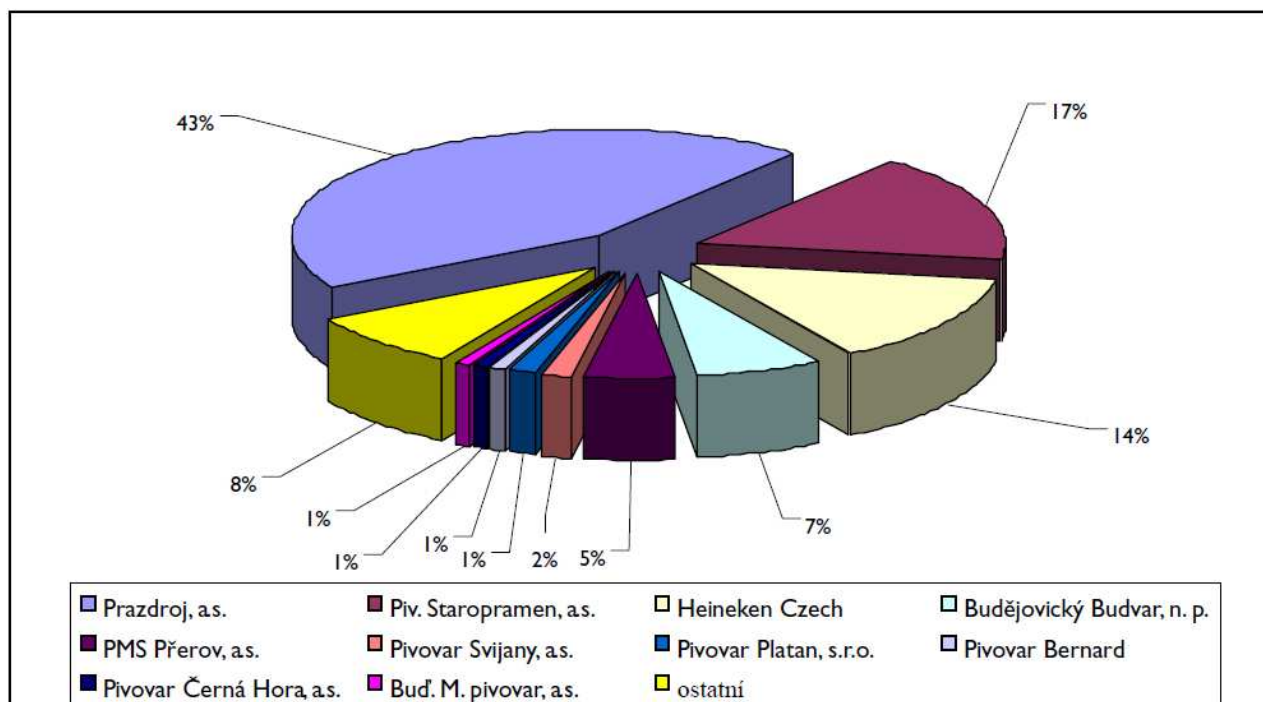
Sortimentní členění	Výstav piva			
	celkem		pro vývoz	
	hl	%	hl	%
Ležáky	7 705 727	38,91	2 699 304	72,84
Výčepní piva	11 007 162	55,57	852 575	23,01
Nealkoholická piva	578 905	2,92	83 226	2,25
Speciální piva	103 790	0,52	24 020	0,65
Lehká piva	345 082	1,74	35 333	0,95
Piva se sniž. obs. cukru	53 911	0,27	7 942	0,21
Ochucená piva	6 802	0,03	1 897	0,05
Svrchně kvašená piva	4 728	0,02	1 656	0,05
<b>Celkem</b>	<b>19 806 107</b>	<b>100</b>	<b>3 705 953</b>	<b>100</b>

## PŘÍLOHA P III: VÝVOZ PIVA Z ČR DLE HLAVNÍCH ODBĚRATELSKÝCH ZEMÍ 2004 – 2008

**Vývoz piva z ČR dle hlavních odběratelských zemí 2004 – 2008 (tis. hl)**

Odběratelská země	2004	2005	2006	2007	2008
Německo	898,5	1 195	1443,1	1306	1408,5
Slovensko	464,6	460,8	502,9	607,7	573
Velká Británie	304,9	281,3	262,9	319,1	280,2
Rusko	95,6	125	166	239	298,1
Švédsko	99,7	135,4	174,6	199,9	213,6
USA	179,5	191,7	187,9	194,8	154,1
Rakousko	69,6	72,8	88,3	89,7	90,4
Maďarsko	193,1	153,7	89	78	74,2
Finsko	26,5	34,9	45,5	58,6	63,5
Itálie	35,9	50,7	88,2	55,6	47,7
Celkem 10 zemí	2367,9	2701,3	3048,4	3148,4	3203,3
Ostatní	270,3	398,1	487,3	443,4	502,6
<b>Celkem</b>	<b>2638,2</b>	<b>3099,4</b>	<b>3535,7</b>	<b>3591,8</b>	<b>3705,9</b>

## PŘÍLOHA P IV: NEJVĚTŠÍ PIVOVARSKÉ SUBJEKTY V ROCE 2008

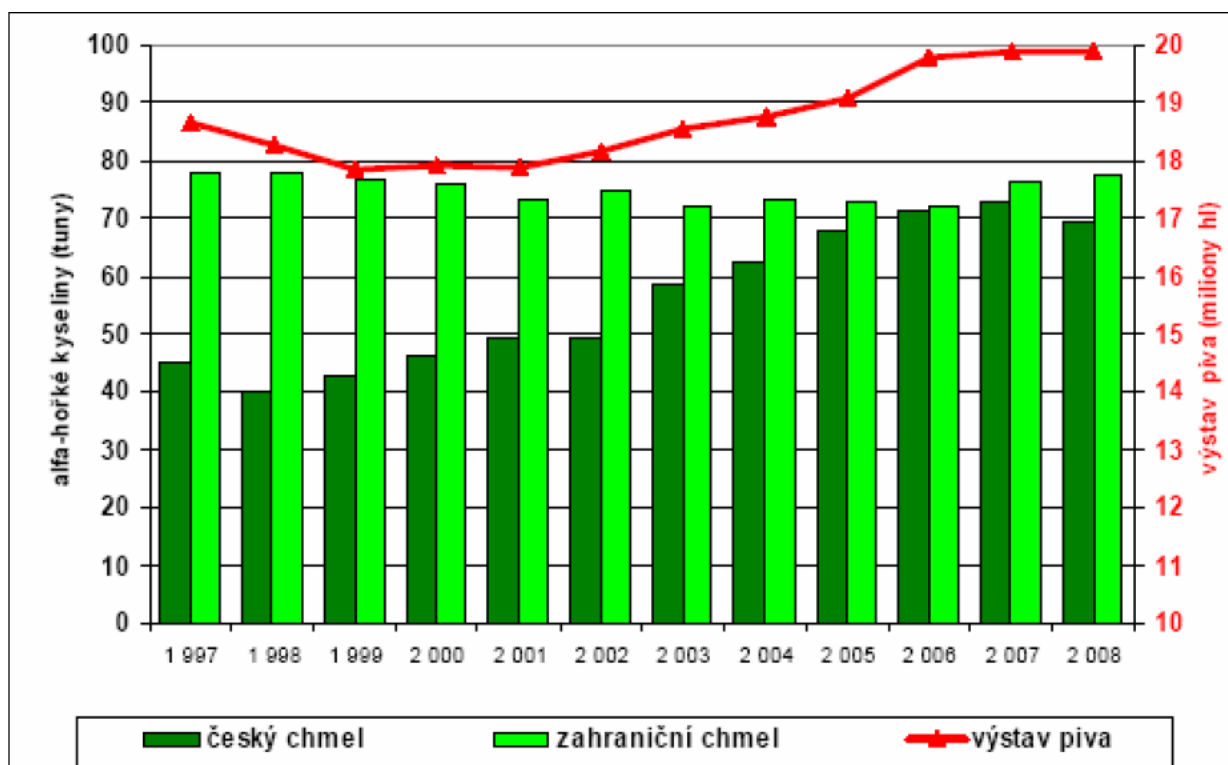


## PŘÍLOHA P V: PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA PIVA V ČR V LITRECH NA 1 OBYVATELE A ROK

**Průměrná spotřeba piva v ČR v litrech na 1 obyvatele a rok**

rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*
spotřeba	161,1	159,8	159,9	156,9	159,9	160,9	160,5	163,5	159,1	158,8	154,1

## PŘÍLOHA P VI: VÝVOJ SPOTŘEBY ČESKÉHO A ZAHRANIČNÍHO CHMELE V ČR





## PŘÍLOHA P VII: NEJSTARŠÍ VYOBRAZENÍ CHMELE

