

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SENZORICKÉ VLASTNOSTI PIVA

Ing. PAVEL ČEJKA, CSc., VÚPS Praha, Pivovarský ústav

Klíčová slova: *Pivo, senzorický profil, senzorické závady, plnost, hořkost, vůně, říz*

1. ÚVOD

Snem každého sládky je vyrobit pivo, které by se vyznačovalo co nejlepšími senzorickými vlastnostmi, tj. příjemnou charakteristickou vůní, dobrou plností, vyrovnanou hořkostí, vysokým řízem a nepřítomností cizích vůní a chutí. I když se takovéto pivo podaří vyrobit, starost ještě nekončí. Stárnutím ve spotřebitelském obalu dochází k senzorickým změnám, které mohou vést ještě před koncem záruční doby k podstatnému zhoršení kvality. Je však lepší vyrobit pivo chuťově čisté, neboť tendence ke zhoršování jeho senzorických vlastností je většinou nižší než u piva vykazujícího závady ihned po stočení.

Je nepochybné, že celkový senzorický profil piva se kromě ceny a obalu rozhodujícím způsobem podílí na úspěchu piva na trhu. Rozhodujícím faktorem je rovněž stálost tohoto senzorického profilu. Zákazník, který si zakoupil určitý výrobek, nesmí být zklamán při koupi téhož výrobku po určité době.

Původní funkcí čichových a chuťových jevů je ochrana organismu před přijímáním nevhodné nebo nebezpečné potravy. Tím je dán primární přístup konzumenta (odpor) zejména k rozkladným chutím a vůním [1]. Sládek proto musí vědět, jaký typ a charak-

ter piva chce produkovat, neboť kromě výše zmíněných omezení daných lidskou fyziologií nelze obecně žádné pivo označit jako kvalitní nebo nekvalitní. Současný pohled na kvalitu piva je proto nutné chápat jako určitou uzanci, která se vyvíjela na základě reakce spotřebitelů po dlouhou dobu.

Hodnocení kvality piva se v zásadě provádí podle dvou hledisek. Objektivně se pivo hodnotí chemickou a mikrobiologickou analýzou. Stejně důležitá je, především z hlediska spotřebitele, i senzorická analýza prováděná školeným hodnotitelem [2]. V současné době existují možnosti podrobného exaktního stanovení senzoricky významných látek v pivu pomocí olfaktometru [3, 4]. Doposud však nelze na základě analýzy stanovit senzorickou kvalitu piva a kritéria typu: plnost chuti piva, říz, dozrívání hořkosti atd.

Úlohou chemiků, studujících vůně a chuti v pivu, je objevit pravidla, která určují vůně a chuť v pivu jako funkci chemického složení. V současné době je tento cíl ještě dosti vzdálený. Pivovarská věda však přináší neustále nové poznatky, které dávají stále ucelenější obraz o působení jednotlivých látek podílejících se na celkovém aroma piva.

Cílem tohoto příspěvku je podat stručný přehled faktorů, které ovlivňují celkový sen-

zorický profil piva, a pojednat o různých senzorických závadách, o podmínkách jejich vzniku a eventuálně o možnostech, jak je co nejvíce omezit. Vzhledem k tomu, že v regionu českých zemí se převážně vyrábí tzv. pivo českého typu [1], vztahují se uvedené poznatky a závěry zejména k tomuto typu.

2. SENZORICKY AKTIVNÍ LÁTKY

Je známo, že pivo obsahuje velké množství těkavých i netěkavých komponent (do dnešní doby jich bylo identifikováno asi 800), jejichž koncentrace, pokud je známa, bohužel nic neříká o důležitosti této látky ve vztahu k senzorickým vlastnostem finálního výrobku. Teprve porovnání její koncentrace s koncentrací prahovou může dát požadovanou informaci [5]. Většina těchto látek se však nalézá v pivu pod svou prahovou hodnotou, pouze malá část z nich tuto prahovou hodnotu překračuje. Toto dokumentuje obr. 1, který znázorňuje koncentraci některých těkavých látek ve světlém ležáku, vyjádřenou jako poměr absolutní koncentrace k prahové hodnotě (tento poměr se často označuje jako FU – flavour unit). Z obrázku je patrné, která složka vykazuje zvýšenou koncentraci ve vztahu k prahové hodnotě.

Překročení prahové hodnoty jedné nebo více látek běžně se vyskytujících pod pra-

hovou hodnotou se může projevit jako senzorická závada. Ale i příliš nízká koncentrace některé ze základních chuťových složek, popř. úplná absence této látky, má za následek určitý nedostatek ve vůni nebo chuti.

Na základě poměru mezi běžnou koncentrací dané látky v pivu a její prahovou hodnotou rozdělil Meilgaard senzoricky aktivní látky v pivu na čtyři skupiny [6, 7]:

1. skupina – tzv. *základní* nebo *primární* senzorické komponenty – obsahuje látky, jejichž běžná koncentrace v pivu je více než dvakrát vyšší než prahová hodnota. Tyto látky lze přirovnat k sólovým nástrojům v orchestru. Sem patří ve světlém plzeňském ležáku pouze ethanol, oxid uhličitý a hořké látky. Je samozřejmě možné, a je to patrné z obr. 1, že i některé další látky mohou přesáhnout uvedenou hranici. Pak ale významným způsobem ovlivní senzorický profil piva.

2. skupina – tzv. *sekundární* senzorické komponenty – obsahuje látky, jejichž koncentrace se pohybuje v rozmezí 0,5 – 2,0 násobku prahové hodnoty. Zde se nachází většina důležitých látek a senzorické rozdíly mezi pivy jsou většinou dány rozdílnou koncentrací látek právě v této skupině. Patří sem např. biacetyl (diacetyl), ethylacetát, 3-methylbutylacetát (isoamylacetát), pentylalkoholy (amylalkoholy), dimethylsulfid a některé mastné kyseliny.

3. skupina – tzv. *terciární* senzorické komponenty – prezentuje látky v koncentraci 0,1 – 0,5 násobku prahové hodnoty. Individuálně hrají tyto komponenty malou roli, ale ve skupině může mezi nimi docházet k synergickému efektu, čímž se jejich role

zvýší. Do této skupiny patří např. 2-fenylethylacetát, 3-methylbutanal (izovaleraldehyd), aceton a methional.

4. skupina – tzv. komponenty v *pozadí* (*background*) – se nacházejí v koncentracích pod 0,1 násobkem prahové hodnoty. Tato skupina zahrnuje několik set komponent. Všechny tyto látky se v pivu vyskytují pohromadě a pohromadě i působí. Pokud některá z nich zvýší svoji koncentraci o více než jeden řád, může se tato změna koncentrace projevit jako chuťová závada.

Na závěr této kapitoly je však třeba zdůraznit, že uvedené hranice nelze chápat ostře, neboť ve složitém prostředí, jakým pivo bezesporu je, dochází k tzv. kompenzační chuti, která souvislost mezi chemickým složením a výsledným senzorickým vjemem komplikuje.

3. SENZORICKÝ PROFIL PIVA

Senzorický profil piva je ovlivňován surovinou (sladem, chmelem, vodou a eventuálně surogáty), dále výrobním postupem (rmutováním, chmelováním, a zejména kvašením a stáčením) a skladovacími podmínkami hotového výrobku. Změnami výrobních podmínek je možno ze stejné partie surovin vařit piva, která mají různou vůni a chuť. Na druhé straně musí být sládek dostatečně zkušený, aby vyrobil produkt stále kvality a chuti ze surovin, jejichž složení podléhá sezónním výkyvům.

Senzorický vjem je však ovlivněn bezprostředně před konzumací způsobem čepování a tvarem sklenice [8]. Např. vůně piva mnohem více vynikne ve sklenici, která se směrem k hrdlu zužuje.

Při hodnocení běžného světlého ležáku se

posuzují zejména tyto vlastnosti: vůně, plnost, říz a hořkost.

Vůně

Vůně piva je přirozeně jeho význačnou charakteristikou, neboť rozhoduje o prvním dojmu, který si o kvalitě piva po nalití do sklenice spotřebitel udělá. V praxi se vyskytuje celá škála vůní od příjemných až po méně příjemné, přičemž pro sládky je dosažení charakteristické vůně nepodléhající kolísání mnohem větším problémem než zajištění ostatních vlastností a hořkosti.

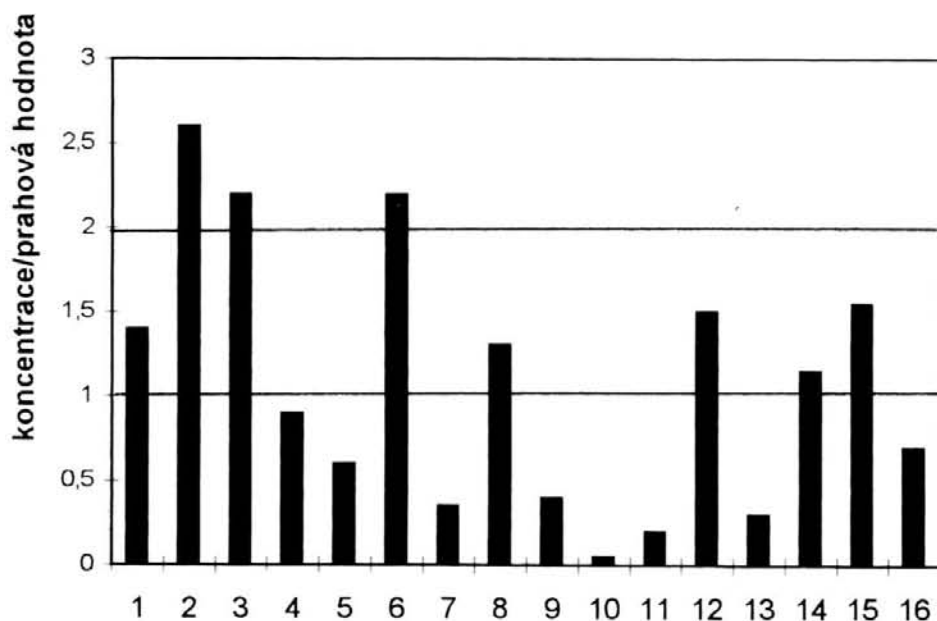
V současné době je velmi diskutovanou otázkou dosažení *chmelového aroma*, které je kladně hodnoceno stále větším počtem konzumentů. Jeho čistota závisí na druhu a kvalitě použitého chmele nebo chmelového produktu a intenzita závisí na způsobu chmelování a použité technologii kvašení a dokvašování [9, 10]. Pokusy prokázaly, že intenzivnější chmelová vůně se dosáhne použitím hlávkového chmele (popř. mletého nebo granulátu), než při použití chmelového extraktu (i pokud obsahuje chmelové silice). Je to dáno tím, že chmelové silice z extraktů, které nejsou modifikovány, se rychle rozptýlí v mladině a brzy vytékají s vodní parou, zatímco aromatické látky v hlávkovém chmelu se uvolňují pomaleji, částečně se modifikují (oxidují a polymerují) a stávají se hydrofilními. Základním předpokladem přítomnosti chmelového aroma v pivu je, aby chmelové silice ve formě kvalitního chmele byly přidány do piva asi 5–20 min před koncem chmelovaru. Tato doba je velmi důležitá z hlediska těkavosti chmelových silic, určitého stupně oxidace a polymerace. Z látek zodpovědných za chmelové aroma v pivu lze vyjmenovat hlavně linalool, humulol, humulenol, humulenepoxid, karyofylenepoxid a geraniol, mající pryskyřičnou a květinovou vůni, dále některé ketony s kořeněnou vůní a estery s citrusovou nebo ovocnou vůní [11–16].

Dosažení chmelového aroma je však závislé i na dalším technologickém postupu. Vysoká oxidace na varně a zvláště při chlazení ve vířivé kádci, nedostatečné odstranění kalů, stejně jako pomalé kvašení a dlouhé dokvašování mohou způsobit částečné nebo úplné vymizení chmelového aroma v hotovém pivu. Stejně nepříznivě se může projevit pasterace piva. Z těchto příčin se často dává přednost (zejména v anglosaských zemích) tzv. chmelování za studena. Při stárnutí piva se bohužel chmelové aroma rychle vytrácí [11–14].

Příjemnou a pro některá piva charakteristickou může být velmi slabá *esterová vůně*. Z dlouhodobých pozorování vyplývá, že tato vůně má příznivý charakter tehdy, je-li poměr vyšších alifatických alkoholů a esterů nižší než 3 ku 1. Je-li tento poměr vyšší (např. 10 ku 1), vůně piva je nevyrovnaná a chuť relativně prázdná a trpká. V tomto ohledu však existují mezi pivy velké individuální rozdíly [17, 18].

Za příznivou a svěží vůni lze rovněž považovat velmi slabou *kvasničnou vůni*, která

Obr. 1 Senzorický profil 12% světlého ležáku



Koncentrace jednotlivých látek je vyjádřena jako poměr mezi reálnou koncentrací a prahovou hodnotou. (Podle Engana [7]).

1. Acetaldehyd, 2. Dimethylsulfid, 3. Ethylacetát, 4. Diacetyl, 5. 2-methylpropylacetát (isobutylacetát), 6. 2-methylbutylacetát (isoamylacetát), 7. 2-Fenylethylacetát, 8. Ethylhexanoát, 9. Ethylloktanoát, 10. 1-Propanol, 11. 2-methylpropanol (isobutanol), 12. Pentylalkoholy (amylalkoholy), 13. 2-Fenylethanol, 14. Kys. hexanová (kapronová), 15. Kys. oktanová (kaprylová), 16. Kys. dekanová (kaprinová)

se někdy v pivovarské literatuře označuje jako „kvasničný buket“ (aby se odlišila od méně příjemné vůně po kvasnicích). Např. kroužkování může podpořit tento senzorický dojem. Do současné doby se však nepodařilo tuto vůni popsat analyticky [18].

Plnost

Plnost je velmi důležitou senzorickou vlastností piva. Problémem je docílit dostatečné plnosti hlavně u piv s nižší koncentrací původní mladiny a nealkoholických piv. Všeobecně rozšířený názor, že za plnost piva odpovídá neprokvašený extrakt (nebo jinými slovy, čím méně prokvašené pivo, tím vyšší plnost) se ukázal jako ne zcela pravdivý. Málo prokvašená piva mívají naopak mdlou, nevyrovnanou chuť a cizí chuť po sladu nebo mladině. Až teprve velmi vysoké zdánlivé prokvašení může způsobit ztrátu plnosti vlivem nedostatku sacharidů; tento nedostatek je však bohatě kompenzován vyšším obsahem alkoholu, který se též podílí nemalou měrou na plnosti piva [17]. β -glukany a dextriny k plnosti piva nepřispívají buď vůbec, nebo jen nepatrně. Ani glycerol, i když jeho koncentrace v pivu je relativně vysoká, se nepodílí na plnosti piva [19, 20].

Za plnost piva jsou nejvíce odpovědné dusíkaté látky s molekulovou hmotností nad 10 000 (až do 60–100 000). Nejvíce prázdná piva pocházejí z přelustěných sladů, neboť tato skupina látek byla rozštěpena již v průběhu sladování a do piva se nedostala. Se ztrátou plnosti dochází často i ke ztrátě řízu a v kombinaci s vysokým obsahem polyfenolů mívají tato piva hrubou a drsnou hořkost [17, 18].

Pro dosažení optimální plnosti lze požadavky na slad definovat takto: obsah bílkovin 10,5–11 %, Kolbachovo číslo 39–41 %, rozdíl v extraktu moučka šrot 1,7–2 % a viskozita 1,54–1,57 mPas. V průběhu varního procesu je třeba mít na mysli, že štěpení bílkovin musí probíhat pouze do takového stupně, aby bylo zajištěno dostatečné množství aminodusíku. Zbytečně dlouhé prodlevy při 45–55 °C vedou k prázdným, trpkým pivům s nedostatečným řízem [18].

Rovněž kvalita varní vody má vliv na plnost piva: přílišné odstranění hydrogenuhlíkatých iontů není z tohoto hlediska žádoucí. Obsah vápníku by se měl pohybovat v rozmezí asi 35–50 mg/l. Mírná záporná zbytková alkalita (asi do 5 °n) zlepšuje celkový senzorický dojem; naopak v případě zbytkové alkality 5 °n a vyšší je třeba přikročit k umělému okyselení díla, např. kyselinou mléčnou [17, 21].

K plnosti piva přispívá rovněž vyšší obsah chloridů; takováto piva bývají označována za „plná, čistá, vyzrálá nebo zaokrouhlená“. Naopak vyšší obsah síranů vede k suché a hořké chuti [19].

Říz piva

Jak je všeobecně známo, za říz piva je zodpovědný oxid uhlíčitý. Nerozhoduje však pouze jeho absolutní obsah, ale též způsob jeho vazby v pivu, který ve velké míře zá-

visí na teplotě dokvašování a na manipulaci piva před stáčením. Významnými faktory jsou obsah koloidů, fosfátů a zejména pH piva [22]. Piva o vyšším pH nikdy nedosáhnou vysokého řízu, a to ani tehdy, je-li obsah oxidu uhličitého vysoký. pH piva by mělo být nižší než 4,5 (nejlépe 4,4). V letech 1975–1988 se pH piv zvýšilo asi o 0,13–0,15, což bylo způsobeno změnou pH sladu a mělo za následek určitou ztrátu řízu; naštěstí od té doby již pH piv nestoupá [18]. Jak bylo uvedeno výše, přelustěné slady nebo přílišná degradace bílkovin ve varně rovněž vede ke ztrátě řízu. Při nepříznivém složení varní vody nebo při použití méně kvalitního sladu lze pH celého procesu příznivě ovlivnit např. aplikací biologicky získané kyseliny mléčné, což se projeví ve svěžejší chuti piva. Kladně se rovněž projeví přidavek vápenatých iontů, nejlépe ve formě chloridu [21].

Hořkost

Hořkost piva je primárně ovlivněna chmelováním, a tedy obsahem hořkých látek v pivu. Většina lidí není schopna rozlišit rozdíl v hořkosti nižší než 3–4 jednotky EBC [23, 24], proto je nesmyslná praxe některých laboratorů uvádět hořkost na jedno (nebo i dvě) desetinná místa. Vlastní intenzita vjemu hořkosti zcela nekoresponduje s analyticky stanoveným obsahem hořkých látek (běžně nazývaných jako „izosloučeniny“), popř. s obsahem iso- α -kyseliny. Rovněž modifikované chmelové produkty jako reduktované iso- α -kyseliny nebo tetraiso- α -kyseliny nevykazují těsnou korelaci s „izosloučeninami“. Vlastní pocit hořkosti je totiž ovlivněn nejen obsahem těchto látek, ale též jejich složením. Výrazně hořčí, ale méně příjemnou chuť vykazuje kohumulon [17], jehož obsah je dán odrudou použitého chmele a který se může zejména projevit, pokud byl proces vedený při vyšším pH [22]. Přednost je však dávána méně výrazné, zaokrouhlené hořkosti, na čemž se výrazně podílí chmelové aroma, dané obsahem některých silic, které mohou nepříznivou hrubou hořkost zaokrouhlovat a zjemňovat.

Vjem hořkosti piva však poskytují i jiné látky v pivu obsažené: jsou to zejména některé polyfenolové látky, dusíkaté látky a nakonec tzv. „kvasničná“ hořkost [18].

„Hořkost“ způsobená některými polyfenoly ze sladu vzniká převážně dlouhým vyslázováním spojeným s přílišnou oxidací nebo přímým uvolňováním těchto látek z pluch při použití vody s vysokým obsahem hydrogenuhlíkatů (s vysokou „přechodnou“ tvrdostí). Stejně nepříznivý vliv může mít i přidávání patoků do vstříčky. Z hlediska oxidace polyfenolů během varního procesu je výhodnější, aby poměr použité vstříčky vody k vstříčkové vodě nebyl příliš nízký (příliš hustá vstříčka, rmuty a předeček) [18]. Rovněž chmelové polyfenolové látky mohou způsobit výše uvedené chuťové odchylky. Hořkost nebo hrubost, za kterou jsou odpovědné dusíkaté látky, se vyskytuje v pivu při použití krátkých, sklovitých, málo

rozluštěných sladů, při jejichž zpracování často dochází k nedostatečnému odstranění hrubých kalů během chlazení mladiny [17].

Tzv. „kvasničná hořkost“ je vždy přítomna, pokud pivo vykazuje silnou kvasničnou vůni a chuť. Ta může vzniknout buď při vícenásobném nasazení kvasnic, v důsledku špatného fyziologického stavu kvasnic, při vysokém obsahu kvasnic při sudování, popř. pokud dokvašování skončí příliš brzy nebo je naopak neúměrně dlouhé. Kvasnice nejsou schopny poskytovat běžné produkty kvašení, zvyšuje se hladina mastných kyselin, zejména kyseliny dekanové (kaprinové), rovněž je zvýšen obsah ethylesterů mastných kyselin. Je proto nutné hlídat fyziologický stav kvasnic a vyhnout se příliš dlouhému dokvašování ve sklepě [16, 25].

4. STRUČNÝ PŘEHLED HLAVNÍCH SENZORICKÝCH ZÁVAD PIVA

V dalším textu je uveden stručný přehled cizích vůní a chutí, které se mohou vyskytnout v pivu. Jsou seřazeny podle kruhového schématu EBC [26, 27].

Třída 1

Ovocná, jablečná, banánová, esterová, parfémová, po rozpouštědlech

Tyto vůně a chutě jsou způsobeny vysokým obsahem esterů, které jsou sice přirozeným produktem kvašení, ale za nepříznivých podmínek se jich může tvořit vyšší množství. Do současné doby bylo v pivu identifikováno asi 100 různých esterů, z nichž některé mohou dát pivu též sladké nebo květinové aroma [28]. Vedoucí úlohu hraje isoamylacetát s banánovým aroma, důležité jsou rovněž estery kyseliny máslé a hexanové. Při senzorickém hodnocení piva je nutno přihlídnout nejen k absolutní hodnotě hladiny esterů, ale též k poměru vyšších alkoholů k esterům [29].

Významný vliv na tvorbu esterů má kvasničný kmen, jenž musí být vybrán s ohledem na další technologické podmínky kvašení. Vyšší tvorbu esterů (a vůbec vedlejších produktů kvašení) podporuje jakost sladu a případná surogace (zejména sacharózou) jako důsledek nižšího obsahu aminodusíku. Stejně nepříznivý je však i příliš vysoký obsah aminodusíku, což se projeví změněným profilem esterů i vyšších alkoholů. Dalšími nepříznivými faktory jsou vysoká koncentrace mladiny, její nízké provzdušnění před zakvašením, nízký nárůst kvasnic při kvašení a vysoká teplota kvašení. Nízké provzdušnění mladiny se může nepříznivě odrazit např. při doplňování kvasící mladiny v CK tancích, vyšší koncentrací mladiny u speciálních piv (s koncentrací mladiny nad 14 %) a u high gravity brewing, neboť vývin esterů je mnohem vyšší, než by proporcionálně odpovídalo vzrůstu koncentrace [32].

Jak již bylo zmíněno výše, důležitější pro aroma piva je poměr vyšších alkoholů k esterům, než absolutní obsah esterů. Tento poměr bývá u piv vyrobených klasickým způsobem asi 2,5–3 ku 1, zatímco u piv vyrobených v CK tancích asi 4–5 ku

1. Byl pozorován i vliv geometrie kvasných nádob: výhodnější se jeví poměr průměr k výšce (včetně kónusu) 1 ku 2 než 1 ku 3. Příčinou je nižší vývin esterů při kvašení se stoupajícím hydrostatickým tlakem [18].

Z významných esterů, jejichž koncentrace v pivu může překročit prahovou hodnotu, lze jmenovat: ethylacetát (ovocné až parfémové aroma), 3-methylbutylacetát (isoamylacetát) (ovocné, banánové aroma), 2-fenylethylacetát (ovocné, jablečné aroma), ethylbutyrát (jablečné aroma) a ethylhexanoát a ethyloktanoát (ovocné, sladké aroma) [32, 34].

Acetaldehydová

Acetaldehyd je výchozí sloučeninou, ze které vzniká v rámci glykolýzy ethanol. Tvoří aroma mladého piva, v průběhu dokvašování se odbourává. V nízkých koncentracích voní po zelených jablkách, ve vyšších je jeho vůně poněkud ostřejší, štiplavější. Jeho prahová hodnota je asi 10 mg/l. Při dlouhém studeném dokvašování klesá jeho obsah pod 2 mg/l, při krátkém dokvašování může být jeho hladina 20 mg i více. Vyšší bývá jeho obsah ve svrchně kvašených pivech. Sensoricky se však může v pivu projevit i pod svou prahovou hodnotou, neboť vlivem synergického efektu s estery podporuje vznik ovocného nebo esterového aroma [33]. Některé druhy bakteriální infekce (např. *Zymomonas*) nebo divoké kvasinky pocházející jak z mladiny, tak z kvasnic, oxidují ethanol na acetaldehyd a mohou se tak podílet na zvýšení jeho koncentrace v pivu. Více acetaldehydu je možno též zaznamenat po autolýze kvasnic [7].

Třída 2

Trávová, listová, slámová, po seně

Tato vůně vzniká při použití špatně skladovaných sladů, zejména ve vlhku a při vyšší teplotě, a projevuje se hlavně zvýšeným obsahem některých alkenalů (karbonylové sloučeniny s jednou dvojnou vazbou). Takovouto typickou sloučeninou je např. cis-3-hexenal [7].

Třída 3

Obilná, po pluchách, moučná

Výskyt tohoto aroma bývá často pozorován v poslední době. Na jeho existenci má vliv zejména kvalita sladu a použitých surogátů. Může se vyskytnout jako následek přílišného rozemletí pluch při mletí sladu nebo při použití vyslazovací vody o vyšším pH. Rovněž přílišná degradace bílkovin (Kolbachovo číslo vyšší než 45 %, barva sladu vyšší než 3,8 j. EBC) může vyvolat tento sensorický dojem. Často se též vyskytuje při zpracování ozimých ječmenů. Výskyt této chuti a vůně je doprovázen zvýšeným obsahem 2-fenylethanolu, hexanolu, 2-ethylhexanolu, 2-fenylacetaldehydu, 3-methyl-2-butanonu a 3-methylbutanal (izovaleraldehydu) [17, 18].

Sladinová, mladinová

Tyto vůně a chutě mohou mít více příčin. Jednou z nich je zpracování sladu, který byl dotahován při vyšší teplotě (82–83 °C) [18]. Další příčinou je nízký odpar při varu mladiny (zejména vznik tzv. mrtvých zón), což se projeví ve zvýšeném výskytu hexylacetátu, heptylacetátu a oktylacetátu [35]. Rovněž nízké prokvašení mladiny (zejména při výrobě nealkoholických piv přerušovaným kvašením) zanechává v pivu mladinovou vůni a chuť. Často mívají tato piva vyšší barvu, prázdnější chuť a nižší říz.

Třída 4

Karamelová, připálená, melasová

Karamelová vůně ve velmi slabé intenzitě nemusí být na závadu a může dokreslovat celkový charakter piva, i když u piva českého typu se považuje za nepřipustnou [1]. Jednou z příčin jejího výskytu je tepelná degradace sacharidů při varu mladiny (u nás často při časném vyhřívání předku v mladinové pánvi) a s tím související vznik některých heterocyklických sloučenin. V nedávné době však byly identifikovány látky, které jsou rovněž zodpovědné za toto aroma a jejichž souvislost s tepelnou degradací mladiny je méně zřejmá. Jsou to 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanon (HDMF), 4-hydroxy-2-(nebo 5)-ethyl-5-(nebo 2)-methyl-3(2H)-furanon (HEMF) a maltol [36]. Zatímco HDMF a maltol jsou přítomny v mladině, HEMF se tvoří až při kvašení, současně však při kvašení stoupá i koncentrace HDMF. Koncentrace těchto látek je ovlivněna hlavně kvasničným kmenem a obsahem extraktu mladiny. Nejvíce ke karamelové chuti piva přispívá HDMF.

Karamelová vůně a chuť je typická pro tmavá piva. Při použití karamelových sladů se ve vyrobených pivech nalézají vyšší koncentrace některých heterocyklických sloučenin, např. furfurylalkoholu, isomaltolu a 2-acetylfuranu, při použití pražených sladů dialkylpyraziny a 2-furanylpiazin [37].

Připálená vůně a chuť vznikají tehdy, je-li rozdíl teplot mezi stěnou nádoby a kapalinou při varu rmutů a při chmelovaru příliš vysoký. Výsledkem je opět vyšší výskyt některých heterocyklických sloučenin.

Třída 5

Kvasničná

Jak již bylo uvedeno výše, jemná kvasničná vůně může být žádoucí zvláště pro některé druhy piv. Její nevýhodou je však nízká stálost jejího výskytu při skladování. Méně příjemné kvasničné aroma, které z piva „vyráží“ ihned po nalití do sklenice, bývá spojeno s některými technologickými závadami při vedení kvasného procesu [25]. Mezi ně patří hlavně při klasickém způsobu kvašení přečerpání většího množství kvasnic do ležáckého tanku při sudování, vyšší teplota dokvašování, příliš živé, razantní dokvašování, nebo naopak jsou-li kvasnice příliš oslabené (mnohokrát vedené). Výskyt tohoto aroma je úzce spojen s mírně zvýšeným obsahem

C6, C8 a C10 mastných kyselin (hexanové, oktanové a dekanové) a jejich ethylesterů [38]. K zajištění svěžejší chuti piva se doporučuje kroužkování, které zajistí odbourání 2-acetolaktátu a napomůže snížení exkrece volného aminodusíku a nižších mastných kyselin [17].

Fenolová, chlorfenolová, karbolová, medicínální, bakelitová

Nejčastější příčinou vzniku této škály velmi nepřijemných chutí a vůní bývají zbytky dezinfekčních prostředků obsahující halogeny, které reagují s přirozeně se vyskytujícími fenoly na chlorfenoly (nebo jodfenoly). Ty mají velice nízkou prahovou hodnotu (např. o-chlorfenol 0,001 mg/l). Tak např. špatně vypláchnutý zbytek dezinfekčního prostředku o objemu asi 100 ml a obsahující asi 1,5 g halogenu může zcela znehodnotit pivo v 1000 hl tanku (vznikne vůně připomínající plavecký bazén nebo použitý obvaz). Další běžnou příčinou může být používání městské chlorované vody na varně (zejména při vyslazování), aniž je zařazen filtr s aktivním uhlím (nebo je vyčerpán) [7, 32, 39, 40].

Některé aromatické fenoly mohou také vzniknout dekarboxylací hydroxyskořicových kyselin a kyseliny ferulové, způsobenou bakteriální kontaminací (*Enterobacter*) v mladině nebo kontaminací některými divokými kvasinkami při kvašení [41, 42].

Typickou sloučeninou pšeničných piv bývá 4-vinylguajakol s vůní poněkud připomínající hřebíček, ve vyšších koncentracích zubního lékaře. Ve světých ležáčích se většinou vyskytuje hluboko pod svou prahovou hodnotou [32, 41].

Třída 6

Diacetylová, po tvarohu, po syrovátce

Diacetyl se může dostat do piva dvěma různými cestami, a to buď infekcí laktobacily nebo pediokoky, nebo se vytváří při hlavním kvašení, ale ležením nebyl dostatečně odbourán na acetoin a dále na 2,3-butanediol. Plynovou chromatografií lze rozlišit, zda diacetyl přítomný v pivu vznikl přirozenou cestou nebo infekcí, neboť vznikl-li přirozenou cestou, je doprovázen dalším vicinálním diketonem, 2,3-pentandionem [7]. Vyšší obsah diacetylu se nalézá zejména u piv, která byla vyrobena z mladiny s nízkým obsahem volného α -aminodusíku, např. při použití velkého množství surogátů s nízkým nebo nulovým obsahem dusíkatých látek. Kvasnice jsou potom nuceny zvýšit vlastní produkci aminokyselin valinu a izoleucinu. Jako vedlejší produkt těchto reakcí vznikají vicinální diketony. Nepříznivý vliv má rovněž provzdušnění kvasící mladiny nebo mladého piva při sudování, dlouhé a pomalé dokvašování, dlouhá doba vypouštění CKT atd. Určitým problémem je odbourání diacetylu při výrobě piva imobilizovanými kvasinkami [16]. Nízký obsah diacetylu naopak příznivě ovlivňuje nízká teplota při zakvašování a použití dobře sedimentujících kvasnic [43].

Mýdlová, po vosku, po oleji, po mazivech, po tuku a sýru, žluklá, po potu, po kozlu, zatuchlá, fekální

Tato skupina zahrnuje široké spektrum od méně příjemných až po vyloženě odporné chutě a vůně, které mohou pivo zcela znehodnotit. Jejich společným jmenovatelem je zvýšený výskyt nižších mastných kyselin: kyseliny máselné, valerové (2-methylmáselné), izovalerové (3-methylmáselné), kapronové (hexanové), kaprylové (oktanové), kaprinové (dekanové), ale i některých středně velkých mastných kyselin. Příčinou bývá vracení zoxidovaných kalů na varně, použití starého zoxidovaného chmele, pokročilá autolýza kvasnic aj. Nejvýznamnější vliv však má bakteriální infekce, nejčastěji rodem *Clostridium* [7, 29, 33].

Zajímavé zjištění bylo učiněno v souvislosti s výskytem cizí „zatuchlé“ vůně v plechovkovém pivu. Bylo zjištěno, že toto nepříjemné aroma bylo způsobeno plísní *Geotrichum*, která se dostala do prázdných plechovek před stáčením piva. Jako vlastní příčina byla odhalena přítomnost 2,4,6-trichloranisolu a (TCA) a 2-methylisoborneolu (MBI) [44].

Třída 7

Autolyzační

Pokud při kvašení autolyzuje již asi 5 % kvasnic, dostává se pivu právě tzv. autolyzační vůně i chuti. V těchto pivech se nachází vyšší množství aminokyselin, peptidů, nukleových kyselin, vitamínů a enzymů. Vlastní autolyzační vůně a chuť však způsobují některé sirmé sloučeniny (např. methan-thiol, dimethyldisulfid, diethyldisulfid, amylmerkaptan aj.) [45]. Rovněž stoupá obsah některých nižších mastných kyselin. V této souvislosti je třeba upozornit na skutečnost, že sklon k autolýze mají kvasnice, které byly ošetřeny přidávkou zinku [7]. Příčiny vzniku této cizí vůně a chuti jsou stejné, jak je uvedeno u kvasničné vůně a chuti, tj. technologické závady při kvašení, následky jsou však mnohem více patrné [38].

Po vařené zelenině, po dimethylsulfidu, po vařené kapustě, po celeru, sirmá

Je způsobena zvýšeným obsahem některých sirmých sloučenin, v pivech typu světlý ležák zejména zvýšeným obsahem dimethylsulfidu (DMS). Ten pochází buď ze sladu z jeho prekurzorů (S-methylthioninu) nebo může vznikat působením infekce [16, 46].

Nedostatečné dotahovací teploty na sladovně nebo nízké provaření mladiny mají za následek vysoký zbytkový obsah DMS-prekurzoru v mladině a tím vyšší uvolňování DMS do piva během kvašení a dokvašování [33, 47].

DMS a některé další sirmé sloučeniny produkují „mladinové“ bakterie, které se rozmnožují hlavně na začátku kvašení před poklesem pH. Kontaminovány mohou být i nasadní kvasnice. Typickým představitelem je bakterie *Obesobacterium proteus*, která poskytuje sirmé sloučeniny jako vedlejší produkt přeměny látek následkem zpo-

maleného zakvašování, nedostatečného promíchávání v CKT nebo nedostatečné čistoty varních nebo kvasných nádob, čerpadel, trubek a hadic [16, 18]. Vyšší obsah sirmých sloučenin byl též pozorován při centrifugaci horké sladiny jako následek velkých střížných sil působících na kapalinu [18]. Rovněž nedostatečné odstranění kalů z mladiny nebo ponechávání horké mladiny na pánvi před chlazením může mít za následek vývoj některých sirmých sloučenin (vyšší obsah polysulfidů, methylthioesteru a methyl- a ethylmerkaptanu) [16].

Dalším zdrojem sirmých sloučenin v pivu mohou být rezidua pesticidů obsahujících síru při ošetření chmele. Také některé odrůdy chmele s vysokým obsahem thiolesterů mohou vnášet do piva vůni po vařené kapustě [16, 23]. Velmi nízká teplota kvašení (8 °C a nižší) podporuje vyšší obsah sirmých sloučenin v pivu (vyšší obsah DMS, methionalu a orthoaminoacetofenonu) [48].

Některé pivovary pravidelně kontrolují obsah DMS ve svých výrobcích. V této souvislosti je ale zajímavé nedávné zjištění, že DMS-aroma přímo nekoreluje s obsahem DMS. Byla zjištěna výrazná negativní korelace mezi DMS-aroma a obsahem vyššího alkoholu 2-fenylethanolu, čili jinými slovy, 2-fenylethanol výrazně maskuje DMS-aroma v pivu [49].

Zvláštním případem sirmé vůně je vůně cibulová, která byla pozorována při použití varní vody o obsahu síranových iontů 200 – 250 mg/l nebo při přílišné acidifikaci výstírky [17].

V závěru této kapitoly je třeba upozornit na skutečnost, že role sirmých sloučenin v pivu nebyla ještě dokonale objasněna, což souvisí s velice obtížným analytickým stanovením těchto látek. Obecně však platí, že toto aroma může být velice intenzivní a může překrýt další chutě a vůně.

Po sirovodíku, po zkažených vejcích

Sirovodík je přirozený produkt metabolismu kvasnic, jeho prekurzory jsou aminokyseliny cystein a methionin. Jeho vývin je přímo úměrný počtu buněk v médiu. Hotové pivo neobsahuje téměř žádný sirovodík, neboť ten odejde z největší části v kvasných plynech [50].

Zvýšená tvorba sirovodíku se vyskytuje jako následek nedostatečného odstranění kalů z mladiny nebo jejího nízkého provzdušnění před zakvašením. Nepříznivá je také oxidace při sudování [29].

Rovněž infekce rodu *Pectinatus*, *Zymomonas* a *Megasphaera* může vyústit ve vyšší koncentraci sirovodíku v pivu [16].

Sluneční, letinková

Tato vůně vzniká působením přímého slunečního světla nebo dlouhodobě vlivem rozptýleného světla na pivo. I umělé světlo (zářivkové) může dát pivu tuto nepříjemnou příchut. Za fotochemické poškození piva jsou odpovědné vlnové délky pod 550 nm. Bylo zjištěno, že fotochemickou reakcí mezi iso- α -kyselinou a látkami obsahujícími síru

vzniká 3-methyl-2-buten-1-thiol, který má velmi nízkou prahovou hodnotu. Proti této senzorické závadě je zcela chráněno pouze pivo v plechovkách; hnědé láhve poskytují lepší ochranu proti světlu než zelené. Světlé ležáky jsou k těmto fotochemickým změnám velmi citlivé [16, 31, 51].

Třída 8

Oxidační, pasterační, stará, zvětralá, papírová, po lepence, kočičí, po černém rybízu, po kůži

Celé spektrum cizích vůní a chutí má původ v oxidaci některých složek piva. Na rozdíl od výše zmiňovaných cizích chutí a vůní, které se většinou vyskytují v pivu ihned po stočení, oxidační chutě a vůně se vyvíjejí pomaleji, od několika dnů až týdnů po stočení. Oxidace se může vyskytnout v různých stadiích pivovarského procesu, nejzávažnější nepříznivé změny jsou připisovány oxidaci hotového piva při stáčení. Tato problematika úzce souvisí se stárnutím piva a senzorickou stabilitou, která je dnes považována za největší problém současného pivovarství [52–63]. Byly vypracovány různé teorie stárnutí piva; největší pozornost zaznamenala tzv. radikálová teorie [69–73], která vysvětluje poškození složek piva radikály (sloučeninami obsahujícími jeden nepárový elektron) vznikajícími jako následek reakce mezi kyslíkem a některými látkami (např. kovovými ionty). Působení radikálů lze demonstrovat pomocí chemiluminiscenčních metod [70, 72, 74, 75]. Pivo však senzoricky stárne i při praktickém vyloučení vlivu kyslíku při stáčení, změny se však projevují později.

Stárnutí piva není nepřetržitý proces, při kterém koncentrace vznikajících látek nepřetržitě stoupá. Naopak, jedná se o dynamický proces oxidačních a enzymových reakcí, ve kterých obsah některých látek stoupá, dosáhne maxima a poté se začne odbourávat na jiné, buď neškodné, nebo naopak ještě více senzoricky negativní produkty.

Při stárnutí piva se začne nejdříve vyvíjet oxidační chuť a vůně (po kartonu, lepence, černém rybízu, po kočce nebo sherry). Tyto cizí vůně a chuti přecházejí postupně na sladkou až karamelovou. Hofkost klesá a získává drsnější, třísloninný charakter [59].

Během stárnutí stoupá obsah některých látek, je však obtížné zjistit, které z nich jsou skutečně odpovědné za výše uvedené nepříznivé senzorické změny. Většinou se jedná o karbonylové látky, ale k cizím vůním a chutím přispívají i některé jiné. Některé karbonylové látky lze identifikovat již v průběhu varního procesu, během varu mladiny však většina z nich vytéká, avšak některé prekurzory přecházejí do studené mladiny. Jedná se hlavně o C_5 – C_{12} aldehydy a ketony, odvozené od mastných kyselin [56, 58, 76–79].

Významný vliv na vznik staré chuti má již průběh sladování [80], důležitým faktorem je velikost provzdušnění v průběhu varního procesu [81–86]. Proto je třeba dbát zejména na to, aby např. během čerpání rmutů do kádí

nebo při čerpání mladiny na scezovací kád nedocházelo ke zbytečnému rozstříkávání čerpané tekutiny o stěny nádoby a tím k provzdušňování díla. Tomu lze zamezit jednoduchou úpravou nátoky tekutiny na stěnu nádoby, nebo nejlépe přívodem pod hladinu. Dále je třeba omezit množství absorbovaného kyslíku při chmelovaru jeho zbytečným prodlužováním nad 90 min. Poměrně rozšířeným nešvarem bývá ponechávání horké mladiny v pánvi po ukončení chmelovaru, jestliže mladinu nelze čerpat na vířivou kád. Nevýznamné nejsou ani parametry kvašení [87]. Za stěžejní je samozřejmě považováno maximální omezení oxidace piva při stáčení a obsah antioxidantů, buďto přirozených (oxid siřičitý, polyfenolové látky, melanoidiny) nebo umělých (kyselina askorbová) v pivu [84–89]. Za zmínku stojí rovněž výzkumy, které prokazují, že nevhodný materiál použitý jako výplň korunkových uzávěrů může stimulovat difúzi vzduchu do piva během jeho skladování s nepříznivým dopadem na rychlost stárnutí piva [94,95].

Jako nositel typické lepenkové (papírové, po kartonu) vůně a chutě byl začátkem sedmdesátých let identifikován trans-2-nonenal, který po dlouhou dobu platil jako hlavní látka senzorického poškození starého piva (prahová hodnota leží pod 0,0001 mg/l). Později se však ukázalo, že trans-2-nonenal není jedinou a dokonce ani hlavní látkou způsobující starou chuť piva. Jeho koncentrace stoupá v pivu jen po určitou dobu (asi 2–3 měsíce), potom dosáhne maxima a začne se odbourávat na kratší nenasycené aldehydy. Stará vůně a chuť piva se však vyvíjí dále [30].

Z dalších karbonylových látek odpovědných za stárnutí piva lze jmenovat n-butanal, 2-methylbutanal a 3-methylbutanal (všechny mají sladké-sladové aroma), 2-fenylacetalddehyd (intenzivní sladké-medové aroma), trans-2-cis-6-nonadienal (papírové aroma, prahová hodnota pod 0,0001 mg/l) aj. Jako další sloučenina, která se vyvíjí při stárnutí piva a přispívá ke staré chuti, byla nedávno identifikována sirná sloučenina 3-methyl-3-merkaptomravenčan (aroma po kočce, prahová hodnota je 0,3 pg/l !) [30,31]. I když v posledních několika letech výzkum v oblasti výskytu karbonylových látek značně pokročil, mnoho dalších látek majících na svědomí starou chuť piva zřejmě čeká ještě na své objevení.

Třída 9

Kyselé, nakyslá

Jak je všeobecně známo, původem této chuti piva je bakteriální infekce. Její výskyt je doprovázen zvýšeným obsahem kyseliny octové (po infekci rody *Acetobacter* nebo *Glukonobacter*) nebo mléčné (*Lactobacillus* a *Pediococcus*) [7, 16].

Třída 10

Sladká, nasládlá, sirupová

Nositel sladké chuti v pivu bývá málokdy jediná převažující látka, většinou se jedná o souhrn účinků látek různého složení a původu. U málo prokvašených piv se mo-

hou sladkou chutí projevit neprokvašené sacharidy, spíše se však jedná o peptidy, estery, vyšší alkoholy a karbonylové látky. Jako příklady senzoričky aktivních látek se sladkou chutí, které se mohou v pivu vyskytovat nad svou prahovou hodnotou, lze uvést 3-methylbutanol, na sladké chuti děle skladovaných piv se podílejí zejména ethyl-oktanoát a trans- β -damascenon [30, 34, 96].

Třída 13

Alkalická

Tato chuť vznikne náhodným přimíšením alkalických detergentů do piva z nedokonalé vymytých lahví [27].

Kovová, po železe

Jedná se o drsnou nepříjemnou chuť, která se projevuje na špičce jazyka a v přední a horní části ústní dutiny. Kovy vstupující do varního procesu jsou eliminovány zejména v kalech a částečně během kvašení. Nebezpečné jsou až kovové ionty přecházející do piva v závěrečných fázích výroby (zejména z křemeliny) [97]. Koncentrace železa, která vyvolá kovový vjem, se podle různých autorů různí: jsou udávány hodnoty od 0,4 až po 3 mg/l, což je však o hodně více, než se železa v pivu běžně nalézá [7, 42]. Senzoricky relevantní je pouze dvojmocné železo, trojmocné nikoli. Ke vzniku řady sloučenin s kovovým aroma však také vede hydrolyza obilných lipidů a následné oxidační štěpení nenasycených mastných kyselin na nenasycené ketony, jako je např. 1-okten-3-on a 1,5-oktadien-2-on. Rovněž některé sloučeniny pyrrolu obsahující síru vykazují výrazné kovové aroma (N-methyl-pyrrol-2-yl-sulfid) [33].

Adstringentní, trpká, svíravá

Tato chuť, která se projevuje stahující a suchou chutí v zadním prostoru ústní dutiny, je vyvolána vzájemným působením určitých polyfenolů a proteinů (zejména glykoproteinů) na chuťové papily. Schopnost ke tvorbě těchto interakcí stoupá se zvyšující se molekulovou hmotností, tedy polymerací polyfenolů, a také jejich oxidací. Je úzce spojena s hořkostí piva. Při nízkých koncentracích polyfenolů převládá hořká chuť, zatímco při stoupající koncentraci polyfenolů trpká chuť přibývá a nakonec zcela převládá. Velmi citlivě na tuto chuť jsou zejména světlé ležáky. Nepříznivě se v tomto ohledu projevuje přílišné vyluhování pluch při vstříce, přílišná oxidace při varním procesu a rovněž se mohou nepříznivě projevit oxidační produkty chmele [16, 18, 32].

Hřeivá, po vyšších alkoholech

Tato chuť zanechává příjemný teplý pocit uprostřed jazyka a v hltanu. Podílí se na ní jednak samotný ethanol, který má prahovou hodnotu 1,4 % a jednak některé vyšší alkoholy. Ty jsou typickými vedlejšími produkty kvašení. Jejich tvorbu podporuje vyšší obsah aminodusíku v mladině, vyšší koncentrace původní mladiny, nadměrný růst kvasnic a vyšší teplota kvašení.

Ze senzorického hlediska jsou nejdůležitější tyto vyšší alkoholy: 2-methylbutanol a 3-methylbutanol (alkoholové, sladké až ovocné aroma) a 2-fenylethanol (byl zmíněn v souvislosti s potlačením aroma DMS) [32, 34].

5. LITERATURA

- [1] ČUŘÍN, J.: Kvasný prům. **38**, 1992, s. 41
- [2] HEGARTY, P.K., WHITE, F.H.: Proc. Eur. Brew. Conv. **1993**, s. 429
- [3] THOMPSON, S. Y., DUANE, M. M.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **51**, 1993, s. 138
- [4] TOMLINSON, J. B., ORMROD, I.H.L., SHARPE, F.R.J.: Am. Soc. Brew. Chem. **53**, 1995, s. 167
- [5] MEILGAARD, M. C.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **12**, 1975, s. 151
- [6] MEILGAARD, M. C.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **12**, 1975, s. 107
- [7] ENGAN, S.: Brauwelt Int., III/1991, s. 217
- [8] DELVAUX, F. et al: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 533
- [9] NICKERSON, G. B., VAN ENGEL, L.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **50**, 1992, s. 77
- [10] NARZISS, L., MIEDANER, H., GRESSER, A.: Monatsschr. Brauwiss. **48**, 1995, s. 360
- [11] NARZISS, L., MIEDANER, H., GRESSER, A.: Monatsschr. Brauwiss. **39**, 1986, s. 11
- [12] IRWIN, A. J.: J. Inst. Brew. **95**, 1989, BAMFORTH, C. W.: Brewer **72**, 1986 (2), s. 48
- [13] NARZISS, L., MIEDANER, H., GRESSER, A.: Monatsschr. Brauwiss. **48**, 1995, s. 448
- [14] GRESSER, A.: Brauwelt **125**, 1985, s. 1480
- [15] MAIER, J.: Brauwelt **130**, 1990, s. 762
- [16] STEAD, J.: Brewer **52**, 1966 (8), s. 389
- [17] NARZISS, L.: Brauwelt Int., IV/1992, s. 411
- [18] NARZISS, L.: Brauwelt **135**, 1995, s. 2286
- [19] LANGSTAFF, S.A., LEWIS, M. J.: J. Inst. Brew. **99**, 1993, s. 31
- [20] LANGSTAFF, S. A., GUINARD, J. X., LEWIS, M. J.: J. Inst. Brew. **92**, 1991, s. 168
- [21] MOIR, M.: Brew. Guardian **118**, 1989, č. 9, s. 64
- [22] FIX, J.G.: New Brewer **13**, 1996 (6), s. 27
- [23] GRANT, L.H.: Ferment **9**, 1996, s. 196
- [24] KING, B. M., MOREAU, N.: J. Inst. Brew. **102**, 1966, s. 419
- [25] QUAIN, D.: Brew. Guardian **118**, 1989, č. 10, s. 24
- [26] MEILGAARD, M. C., DALGLIESH, C. E., CLAPPERTON, J. F.: J. Inst. Brew. **85**, 1979, s. 38
- [27] ČUŘÍN, J.: Kvasný prům. **26**, 1980, s. 175
- [28] ENGAN, S.: EBC Monograph IV, EBC Flavour Symposium, Copenhagen, 1981, s. 123
- [29] ANDREWS, D. A.: Brew. Guardian, **113**, 1984 (2), s. 28

- [30] STEMPFL, W.: Brauindustrie **79**, 1994, s. 830
- [31] STEMPFL, W.: Brauindustrie **80**, 1995, s. 120
- [32] STEMPFL, W.: Brauindustrie **80**, 1995, s. 670
- [33] STEMPFL, W.: Brauindustrie **80**, 1995, s. 1136
- [34] STEMPFL, W.: Brauindustrie **81**, 1996, s. 1005
- [35] STIPPLER, L., WACHMET, K.: Brauwelt **134**, 1994, s. 1536
- [36] SAKUMA, S., et al.: J. Am. Soc. Brew. Chem **54**, 1996, s. 37
- [37] TRESSL, R. et al: Proc. Eur. Brew. Conv., 1981, s. 391
- [38] MASSCHELEIN, C. A.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1989, s. 117
- [39] BRENNER, M. W.: Beverages **43**, 1983, s. 19
- [40] JACKSON, A., et al: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **31**, 1994, s. 117
- [41] McMURROUGH, I., et al: J. Inst. Brew. **102**, 1996, s. 337
- [42] CASS, J., ANDREWS, J.A.: Brewer's Guard. **116**, 1987, č. 1, s. 14
- [43] MORRISON, N.M., BENDIAK, D. S.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **24**, 1987, s. 14
- [44] ANDERSON, S.D., et al: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **32**, 1995, s. 95
- [45] THORN, J.A.: Brew. Dig. **46**, 1971 (10), s. 110
- [46] WALKER, M.D., SIMPSON, W.J.: Brew. Guardian **123**, 1994 (11), s. 37
- [47] MIEDANER, H.: Brauwelt Int., I/1987, s. 34
- [48] MARKL, K.S., IVERSON, W., NAUERT, S.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. m. **24**, 1987, s. 9
- [49] HEGARTY, P.K., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 515
- [50] NAGAMI, K., et al: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **17**, 1980, s. 64
- [51] WAINWRIGHT, T.: Brew. Guardian **122**, 1993 (5), s. 10
- [52] MIEDANER, H., NARZISS, L., EICHHORN, P.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1991, s. 401
- [53] KANEDA, H., et al.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **32**, 1995, s. 90
- [54] HASHIMOTO, N.: in J. R. A. Pollock (ed.): Brewing Science, Vol. 2, Academic Press, 1981 s. 347
- [55] DROST, B. W., et al.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **48**, 1990, s. 124
- [56] BRIGHT, D.R., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1993, s. 413
- [57] NARZISS, L., et al.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **30**, 1993, s. 48
- [58] THUM, B., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 491
- [59] DALGLIESH, C.E.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1977, s. 623
- [60] HARDWICK, W. A.: Brew. Dig. **53**, 1978 (10), s. 42
- [61] BAMFORTH, C. W.: Brewer **72**, 1986 (2), s. 48
- [62] O'ROURKE, T.: Brauwelt Int., 1996 (II), s. 166
- [63] NARZISS, L.: J. Inst. Brew. **92**, 1986, s. 346
- [64] ŠKACH, J., ČEJKA, P.: Senzorická stabilita piva. Záv. zpráva VÚPS Praha, 1992
- [65] ŠKACH, J., ČEJKA, P., HAŠKOVÁ, D.: Senzorická stabilita piva. Záv. zpráva VÚPS Praha, 1993
- [66] ŠKACH, J., ČEJKA, P., ČULÍK, J.: Senzorická stabilita piva. Záv. zpráva VÚPS Praha, 1994
- [67] ČEJKA, P., HAŠKOVÁ, D.: Kvasný prům. **39**, 1993, s. 292
- [68] LUSTIG, S., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1993, s. 445
- [69] UCHIDA, M., ONO, M.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **54**, 1996, s. 198
- [70] UCHIDA, M., SUGA, S., ONO, M.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **54**, 1996, s. 205
- [71] BAMFORTH, C.W., MULLER, R.E., WALKER, M.D.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **51**, 1993, s. 79
- [72] WACKERBAUER, K., HARDT, R.: Brauwelt **136**, 1996, s. 1880
- [73] CLARKSON, S. P., LARGE, P. J., BAMFORTH, Ch. W.: J. Inst. Brew. **98**, 1992, s. 111
- [74] KANEDA, H., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1991, s. 433
- [75] KANEDA, H., YOKINOBU, K., KAMIMURA, M.: J. Inst. Brew., **97**, 1991, s. 105
- [76] LUSTIG, S., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 499
- [77] GRÖNQVIST, A., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1993, s. 421
- [78] EICHHORN, P., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1989, s. 717
- [79] DEBOURG, A., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1993, s. 437
- [80] FORSTER, C., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 475
- [81] BROWN, J.W., et al.: Proc. Conv. Inst. Brew. (Cent. & South Afr. Sect.), 1991, s. 173
- [82] BAMFORTH, C. W., CLARKSON, S. P., LARGE, P. J.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1991, s. 617
- [83] KRETCHMER, H., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1995, s. 507
- [84] MULLER, R., et al.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **53**, 1995, s. 53
- [85] YANG, G., SCHWARZ, P.B.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **53**, 1995, s. 45
- [86] CANTRELL, I.G., GRIGGS, D.I.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **33**, 1996, s. 82
- [87] TAGAHASHI, S., KIMURA, Y.: Brauwelt Int. 1996 (III), s. 253
- [88] KANEDA, H., et al.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **32**, 1995, s. 76
- [89] KLIMOWITZ, R.J., KINDRAKA, A.J.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **26**, 1989, s. 70
- [90] WAESBERGE, I. J.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **33**, 1996, s. 96
- [91] WAINWRIGHT, T.: Brew. Guardian **112**, 1983 (8), s. 25
- [92] ILET, D.R.: Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am. **32**, 1995, s. 213
- [93] NARZISS, L., et al.: Brauwelt **135**, 1995, s. 2576
- [94] HOORENZ VAN HEINIGEN, D.C.E., et al.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1987, s. 680
- [95] ELIS, H.G., TEUMAC, F., ZENNER, B.: Proc. Eur. Brew. Conv., 1991, s. 401
- [96] WAINWRIGHT, T.: Brew. Guardian **124**, 1995 (10), s. 43
- [97] ČEJKA, P.: Význam kovových iontů v pivovarském výrobním procesu. Kandidátská disertační práce, MBÚ ČSAV, 1987

Lektoroval ing. J. Cuřín, CSc.
Do redakce došlo 10. 3. 1997