

Studium energeticky úsporných systémů chmelovaru pro výrobu Českého piva

Study of Energy-saving Wort Boiling Systems for Czech Beer Production

Alexandr MIKYŠKA, Martin SLABÝ

Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Lípová 15, 120 44 Praha 2 / Research Institute of Brewing and Malting, Lípová 15, CZ-120 44, Prague 2

e-mail: mikyska@beerresearch.cz

Recenzovaný článek / Reviewed Paper

Mikyška, A. – Slabý, M.: Studium energeticky úsporných systémů chmelovaru pro výrobu Českého piva. Kvasny Prum. 61, 2015, č. 2, s. 26–33

Vliv systémů nízkotlakého a dynamického nízkotlakého chmelovaru na ekonomiku varního procesu a kvalitu Českého piva byl zkoumán v pilotních pivovarských pokusech (200 l) na světlém ležáku, vyrobeném v souladu s Chráněným zeměpisným označením České pivo. Procesní parametry varem byly navrženy tak, aby u nízkotlakých chmelovarů a atmosférického chmelovaru byly srovnatelné konverze chmelových α -kyselin a tepelné zatížení mladiny. Přes vyvážené redukováný čas varu a stejný obsah iso- α -kyselin v mladině, ukázaly nízkotlaké chmelovary zvyšující se výnos iso- α -kyselin v pivu v řadě atmosférický, dynamický nízkotlaký a nízkotlaký chmelovar. Pěnovitost naopak v tomto pořadí klesala. Nízkotlaký var ušetřil významné množství času a energie (28 % a 25 %), ale senzorická kvalita vyrobeného piva byla průkazně odlišná (hodnocena jako méně příjemná) v porovnání s atmosférickým systémem chmelovaru. Piva vyrobená dynamickým nízkotlakým a atmosférickým varem nebyla trojúhelníkovým testem odlišena. Tato technologie může ušetřit značné množství času a energie (cca o 22 % a 15 %). V tomto článku jsou uvedeny výsledky základní pilotní studie, které budou ověřovány a rozšiřovány v další práci na této problematice.

Mikyška, A. – Slabý, M.: Study of energy-saving wort boiling systems for Czech beer production. Kvasny Prum. 61, 2015, No. 2, pp. 26–33

The effects of a low-pressure and dynamic low-pressure wort boiling systems on a brewing process economy and quality of the Czech beer were studied in a pilot scale trial brews (200 L) of pale lager beer, that had been prepared in agreement with Protected Geographical Indication Czech beer. The process parameters of brews were designed to make conversion of hop α -acids and thermal charge of wort in low-pressure and atmospheric wortboiling comparable. Despite the balance-reduced boiling time and equal iso- α -acids content in worts, low-pressure wort boiling systems showed increasing yield of iso- α -acids in beer in a series of atmospherics, dynamic low-pressure and low-pressure wort boiling. Conversely to that, head retention decreased in this order. Low-pressure boiling saved significant amount of time and energy (28% and 25%), but sensorial quality of produced beer was significantly different (evaluated as less pleasant), compared to the classical atmospheric boiling system. Beers prepared with the use of dynamic low-pressure and atmospheric boiling have not been distinguished by triangle test. This technology can save a considerable amount of time and energy (approximately 22% and 15%). This article presents the results of the basic pilot study, which will be verified and extended in the further work on this issue.

Mikyška, A. – Slabý, M.: Studie über energieeffiziente Systeme der Würzekochen für die Bierherstellung des Tschechisches Bier.

Kvasny Prum. 61, 2015, Nr. 2, S. 26–33

Der Einfluss von den Niederdruck- und dynamisch Niederdrucksystemen auf die Herstellungskosten des Brauprozesses und auf die Qualität des Tschechisches Bieres wurde im Pilot Bedingungen bei der Herstellung Helles Lager Bieres (Sud 200 Liter) in Übereinstimmung mit der Geschützten geografischen Angabe „Tschechisches Bier“ getestet. Die Prozessparameter der Sude wurden so vorgeschlagen, dass bei dem Niederdruck- und bei dem atmosphärischen Hopfenkochen eine vergleichbare Konversionen Hopfen α -Säuren und thermische Belastung der Würze waren. Trotz der ausgewogene reduzierten Kochzeit und gleichem Gehalt an Iso- α -Säuren, wies das Niederdruckkochen erhöhte Menge an Iso- α -Säuren im Bier in einer folgenden Reihenfolge auf: atmosphärisches Kochsystem, dynamisch Niederdruckkochsystem und Niederdruckkochsystem. In der gleichen Reihenfolge jedoch nahm die Schaumbarkeit ab. Niederdruckkochsystem hat wesentlich die Zeit und Energie eingespart, aber die sensorische Qualität des unter Niederdruck hergestellten Bieres im Vergleich dem atmosphärischen Hopfenkochen war signifikant unterschiedlich (ausgewertet als weniger angenehm). Das unter Anwendung des dynamischen Niederdrucksystems hergestellte Bier und „atmosphärisches“ Bier waren beim Dreieckstest nicht unterscheidbar. Diese Technologie kann viel Zeit und Energie (etwa um 22% und 15%) einsparen. Im Artikel werden Ergebnisse aus der Pilot Grundstudie angeführt, die während der Tätigkeit auf dieser Problematik weiter validiert und verbreitet werden.

Klíčová slova: chmelovar, kvalita piva, hořké kyseliny, varní systémy, senzoricky aktivní těkavé látky

Keywords: beer quality, bitter acids, boiling systems, sensory active volatiles, wort boiling

1 ÚVOD

Klasický atmosférický var sladiny s chmelem je vzhledem k vysoké hodnotě výparného tepla vody (2257 kJ/kg při teplotě 100 °C) energeticky nejnáročnější technologickou operací pivovarského procesu (Esslinger, 2009). Proto je vývoji úspornějších systémů věnováno značné úsilí již řadu let. V první fázi bylo energetickým úspor dosaženo rekuperační tepla kondenzací brýdových par. Pozornost se dále zaměřila na zásadní snížení odparu při chmelovaru, výsledkem vývoje jsou systémy chmelovaru pracující s jiným nežli atmosférickým tlakem.

Bylo vyvinuto mnoho systémů chmelovaru s interními/externími vařáky, vysokotlaký (vysokoteplotní) var, nízkotlaký var, dynamický nízkotlaký var Soft-boiling „Sho-Ko“ a další. Používá se stripping mladiny, postevaporace pro odstranění nežádoucích těkavých látek po chmelovaru (vakuumovým odpařováním, mžikovým odpařením) (Esslinger, 2009; Basařová et al., 2010). Každá změna technologic-

1 INTRODUCTION

Due to the high value of the evaporation heat of water (2,257 kJ/kg at a temperature of 100 °C), the standard atmospheric boiling of the wort with hops is the most energy-demanding technological operation of the beer brewing process (Esslinger, 2009). Therefore, considerable amount of effort have been devoted to the development of more efficient systems for many years. In the first phase, savings have been achieved by heat energy recovery due to a vapor condensation. Attention has been also focused on the crucial reduction of evaporation in the course of boiling period, resulting in the development of the systems operating with other than atmospheric pressure.

There are many systems of wort boiling with internal/external boilers, classic atmospheric wort boiling, high-pressure (high temperature) boiling, low-pressure boiling, dynamic low-pressure boiling, Soft-boiling „Sho-Ko“ and others. Wort stripping, post evaporation of undesirable volatiles after wort boiling (vacuum evaporation, flash

kého zařízení je spojena s rizikem změn senzorického charakteru piva.

Cílem chmelovaru je zajistit optimální využití chmelových pryskyřic a silic, zajistit vytékání senzoricky nežádoucích látek, vytvořit předpoklady pro koloidní stabilitu piva precipitací třísložkovinových komplexů a současně zamezit nadměrné tvorbě termických produktů s dopadem na senzorickou stabilitu piva (Esslinger, 2009; Basařová, et al. 2010). Jde o požadavky zčásti protichůdné, proto je nutno činit uvážené kompromisy vedoucí k optimální celkové kvalitě mladiny.

Chmelové pryskyřice jsou z pivovarského hlediska nejdůležitější složky chmele. Jejich transformační produkty tvořené při varu jsou zdrojem hořkosti piva a stabilizují pивní pěnu. Hlavní podíl na celkové hořkosti piva mají α -kyseliny, které se při chmelovaru izomerují na příslušné cis- a trans-iso- α -kyseliny s rozdílným charakterem hořkosti a stabilitou (Jaskula et al., 2010). Jejich hořkost, změny v průběhu stárnutí piva, autooxidační reakce a další vlastnosti jsou dobře popsány (Jaskula et al., 2010; Hughes a Simpson, 1996). Byly také zpracovány kinetické studie izomerační reakce za různých podmínek chmelovaru (Intelmann a Hofmann, 2010). Izomerace je dynamickým procesem tvorby a následné částečné degradace iso- α -kyselin, který závisí zejména na teplotě, době varu a proudění v pánvi. Termická degradace iso- α -kyselin vede k tvorbě senzoricky nežádoucích sloučenin (Malowicki a Shellhammer, 2005).

Chování β -kyselin za stejných podmínek je zcela odlišné. Nemohou izomerovat, protože neobsahují terciární alkoholovou skupinu v aromatickém jádru, jsou ale citlivé k oxidačním reakcím (Verzele a De Keukeleire, 1991). Nejdéle známými oxidačními produkty rozkladu β -kyselin jsou hulupony (Aitken et al., 1970). Na rozdíl od jiných látek byla jejich existence a hořící schopnost potvrzena i v nedávných studiích (Haseleu et al., 2009). Oxidační produkty β -kyselin v pivu vykazují příjemnou hořkost podobnou hořkosti iso- α -kyselin (Krofta et al., 2013). Aromatické chmele obsahují značný podíl β -kyselin, proto je při aplikaci těchto chmelů žádoucí zohlednit i příspěvek β -kyselin. Tradiční žatecký chmel má poměr α/β -kyselin 0,7–0,9, u dalších českých odrůd Sládek, Harmonie, Žatecký pozdní a Bohemie je poměr přibližně roven jedné (Anonymus, 2012). Transformační produkty β -kyselin jsou stanoveny spolu s iso- α -kyselinami při běžně používaném nespécifickém stanovení hořkosti metodou EBC 9.8. (Krofta et al., 2013).

Některé jednoduché i složitější chmelové polyfenoly a jejich oxidační produkty tvořené při chmelovaru jsou senzoricky aktivní, mohou ovlivnit hořkost a trpkost piva (Callemien et al., 2005; McLaughlin et al., 2008).

Silice chmele a jejich transformační produkty jsou senzoricky aktivními látkami. Jsou nositeli škály vůni/chuti označovaných jako kořenité a květinové. Obsah a složení silic v pivu významnou měrou závisí jak na chmelu, tak na podmínkách chmelovaru, době varu, odparu (Esslinger, 2009; Peacock, 2010; Mitter et al., 2001). Za významné složky silice jsou považovány zejména linalool a myrcen, u Žateckého poloraného červeňáku je to β -farnesen. Výzkum silic v pivu stále probíhá, u linaloolu není ze senzorického hlediska rozhodující jeho celkový obsah, ale významnější úlohu hraje změna poměru R a S formy během chmelovaru. Byly identifikovány i další senzoricky aktivní produkty silic (Peacock, 2010).

Termické zatížení při varu má za následek tvorbu karbonylových látek odpovědných za staré chuti v pivu (Herrmann et al., 2010). Informativní posouzení je prováděno stanovením čísla kyseliny thio-barbiturové, které by u vyražených mladin nemělo přesahovat hodnotu TBA = 45 (Kosař a Procházka, 2000).

Výrobci varních zařízení dokládají účinnost svých zařízení především na základě ekonomické výhodnosti a výtěžnosti hořkých látek. Publikováno bylo i porovnání varních systémů na tomto základě se zahrnutím markeru chmelových silic, linaloolu (Mitter et al., 2007). Výroba piva v České republice je charakteristická použitím méně rozluštěných sladů, dekokčním rmutováním a chmelněním aromatickými odrůdami chmele, pro výrobu piv dle CHZO České pivo je tento postup závazný (Anonymus, 2008). Pro využití moderních energeticky úsporných systémů chmelovaru k výrobě českého piva, tedy v surovinově a technologicky odlišných podmínkách, chybí relevantní informace o jejich vlivu na změny kvality piva. Tyto informace může poskytnout porovnání základních typů varních systémů v pokusném měřítku na jednotných surovinách a jedné technologické lince.

Cílem provedené studie bylo porovnat různé varní systémy z hlediska ekonomiky výroby a specifických požadavků na senzorické vlastnosti českého piva.

evaporation) is used (Esslinger, 2009; Basařová et al., 2010). However any change in technology is associated with the risk of changes in sensory character of beer.

The aim of wort boiling is to ensure optimum utilization of hop resins and hop oils, ensuring volatilisation of sensory undesirable substances (e.g. dimethyl sulfide, thermal products of some hop essential oils), creating the conditions for the colloidal stability of beer by tannin-protein complexes precipitation while avoiding excessive formation of thermal products affecting the sensory stability of beer (Esslinger, 2009; Basařová et al., 2010). These are partly contradictory requirements, so it is necessary to make judicious compromises leading to optimal overall wort quality.

Hop resins are the most important hop components for brewers. Their transformation products formed during boiling are the source of beer bitterness and stabilize the beer foam. To the overall beer bitterness, the main contribution have the α -acids (humulones). In the course of wort boiling, these substances subject to isomerization, that results in to a cis- and trans-iso- α -acids with a different bitterness character and stability during wort boiling (Jaskula et al., 2010). Their bitterness changes during beer aging, autooxidative reactions and other properties are well described (Jaskula et al., 2010; Hughes and Simpson, 1996). Kinetic studies of the isomerization reaction under various wort boiling conditions were also carried out (Intelmann and Hofmann, 2010). Isomerization is a dynamic process of iso- α -acids creation and subsequent partial degradation, which depends on temperature, time and flow conditions in the boiling kettle. Thermal degradation of iso- α -acids leads to the formation of undesirable sensory compounds (Malowicki and Shellhammer, 2005).

The behavior of β -acids is quite different under the same conditions. β -acids cannot isomer because they have no tertiary alcohol group in the aromatic nucleus, but they are susceptible to oxidation reactions (Verzele and De Keukeleire, 1991). The oxidative degradation products of β -acids, known for the longest time, are hulupones (Aitken et al., 1970). In contrast to other substances, their existence and the bittering ability was confirmed in recent studies (Haseleu et al., 2009). Oxidation products of β -acids in the beer exhibit pleasant bitterness similar to the iso- α -acids (Krofta et al., 2013). Aroma cultivars of hop contain a substantial share of β -acids, which makes it necessary to take into account the contribution of β -acids, when using these hops. Traditional Saaz hops are characteristic by the α - / β -acids ratio from 0.7 to 0.9, ratio for the other Czech varieties (Sládek, Harmonie, Saaz late and Bohemie) is approximately one to one (Anonymus, 2012). Transformation products of β -acids are evaluated together with the iso- α -acids in commonly used non-specific determination of bitterness by EBC 8.9 (Krofta et al., 2013).

Some simple and complex hop polyphenols and their oxidation products formed during wort boiling are sensorial active thus they can affect beer bitterness and astringency (Callemien et al., 2005; McLaughlin et al., 2008).

Hop essential oils and their transformation products are flavor active substances. They carry large scale of spicy and floral odors / flavors. The content and composition of essential oils in the beer significantly depends on the hops origin and the wort boiling conditions e.g. the time of boiling, evaporation degree (Esslinger, 2009; Peacock, 2010; Mitter et al., 2001). Linalool and myrcene, and in the case of Saaz hops, β -farnesene, are considered as significant hop essential oils. Research of essential oils in beer is still ongoing, for example, in the case of linalool, its overall content is not crucial from a sensory point of view, but changing of the R and S form ratio during wort boiling plays an important role. Also many other flavor active transformation products of essential oils were identified (Peacock, 2010).

Heat load in the course of boiling results in a formation of carbonyl compounds responsible for undesirable aged and stale flavor in beer (Herrmann et al., 2010). Information can be obtained by thio-barbituric acid value assessment, results should not exceed the value of TBA = 45 in the hot hopped wort (Kosař and Procházka, 2000).

Brewhouse equipment manufacturers demonstrate the effectiveness of their facilities primarily based on economic benefits and yield of bitter substances. The comparison of hop several wort boiling systems with the inclusion of hop oils marker linalool has been published (Mitter et al., 2007). But different wort boiling systems cannot be compared in a plant scale, because every brewery produces beers with different hops and hopping regime. Moreover, in the Czech Republic, beer production is characterized by using less modified malts, decoction mashing procedure and hopping by aroma hop varieties. These are the basic technological markers of beer production according to Protected Geographical Indication (PGI) Czech beer (Anonymus, 2008). An implementation of modern energy-efficient wort boiling

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Varní pokusy

Varní pokusy byly provedeny na multifunkčním pilotním varním zařízení se jmenovitým objemem várky 150 až 300 l (Kaspar Schulz, Německo). Byly modelovány dva základní systémy varu za zvýšeného tlaku – var s konstantním přetlakem a dynamický nízkotlaký chmelovar s proměnlivou hodnotou přetlaku a porovnány s klasickým atmosférickým chmelovarem. Na základě předběžných pokusů byly procesní parametry navrženy tak, aby konverze chmelových α -kyselin a tepelné zatížení mladiny byly srovnatelné u všech tří variant.

Sledováno bylo využití hořkých látek chmele, transformace chmelových silic, tékání sensoricky nežádoucích sirných sloučenin, tepelné zatížení mladiny, vliv na sensoricky aktivní těkavé látky v pivu, vliv na polyfenolové látky a antiradikálovou aktivitu a celkový dopad na sensorický profil vlastnosti pív.

Pokusné celoskladové várky 12 % světlého ležáku byly připraveny následovně:

Suroviny. Byl použit komerční slad s kvalitou dle specifikace CHZO České pivo. (Anonymus, 2008). Várky byly chmeleny chmelovým extraktem a peletami T90 Žateckého poloraného červeňáku. Specifikace surovin je uvedena v tab. 1 a 2.

Rmutování. Sladiny byly připraveny dvourmutovým postupem v plně automatizovaném režimu pokusné varny, zaručujícím standardní průběh procesu. Rmutovací diagram je uveden na obr. 1.

Scezování. Scezování bylo řízeno na základě rozdílu tlaků a čírosti sladiny:

Maximální rozdíl tlaků: 10 cm v.s.

Maximální zákal: předek 25 j. EBC, poslední výstřelek 65 j. EBC
Scezování bylo vedeno do konstantního objemu sladiny pohromadě 200 l.

Chmelovar. Byly použity tři varní systémy, atmosférický, dynamický a nízkotlaký. Nastavené parametry testovaných chmelovarů byly následující:

Nízkotlaký chmelovar

Přetlak 150 mbar, teplota 102 °C, doba varu 65 minut

Dávkování chmele:

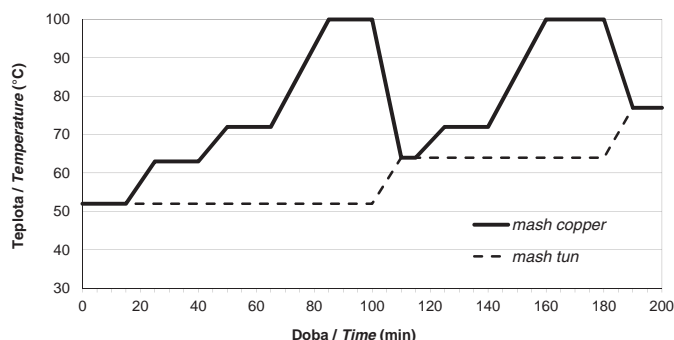
1. Chmelový extrakt (50 % dávky α -kyselin) na začátku
2. Pelety (30 % dávky α -kyselin) po 30 minutách
3. Pelety (20 % dávky α -kyselin) 10 minut před koncem

Dynamický nízkotlaký chmelovar

Maximální přetlak 150 mbar, teplota 102 °C, doba 70 minut (tři tlakové vrcholy, shodný nárůst a pokles přetlaku, pokles na atmosférický tlak).

Dávkování chmele:

1. Chmelový extrakt (50 % dávky α -kyselin) na začátku
2. Pelety (30 % dávky α -kyselin) po 30 minutách
3. Pelety (20 % dávky α -kyselin) 10 minut před koncem



Obr. 1 Rmutovací diagram / Fig. 1 Mashing diagram

Tab. 1 Výsledky rozboru sladu / Table 1 Results of malt analysis

Slad (odrůda Malz) / Malt (Malz variety)		
vlhkost / moisture	%	4.1
extrakt / extract	%	82.8
zcukření / saccharification	min.	10
RE 45 °C / RE 45 °C	%	37.2
barva / color	EBC	3.2
protein / protein	%	10.4
rozdíl extraktů / extract difference	%	1.1
Kolbachovo číslo / Kolbach index		42
friabilita / friability	%	93

systems for the Czech beer production, i.e. raw material and technologically different conditions, lacks of relevant information about their impact on changes in quality of beer. This knowledge can be obtained by a comparison of the basic types of wort boiling systems on uniform materials and a process line in experimental conditions.

The aim of this study was to compare different boiling systems in terms of operating economy, with regards to the specific requirements for the sensory character of Czech beer.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Brewing trials

Brewing trials were carried out on experimental multifunctional pilot brewhouse with a nominal batch volume 150–300 L (Kaspar Schulz, Germany), two basic systems designed for low-pressure (low overpressure) wortboiling – boiling with constant pressure and dynamic low-pressure boiling with variable pressure peaks were simulated and compared with classical atmospheric wort boiling technology. Based on preliminary experiments, process time/temperature parameters were designed to make conversion of hop α -acids and thermal charge of wort in all three variants comparable.

Hop bitter substances yield, hop oils transformation, sensory undesirable sulfur compounds removal, heat charge of the wort, impact on sensory active volatiles in beer, polyphenol substances and anti-radical activity affecting and overall impact on the sensory profile of beer were monitored.

Pilot brews (200 L) of all malt 12% pale lager beer were prepared as follows:

Raw materials. Commercial malt of the quality specified by the PGI Czech beer was used (Anonymus, 2008). Beers were hopped by hop extract and Saaz hops pellets T90. Raw material specification is given in Table 1 and 2.

Mashing. Worts were prepared by double decoction process in fully automated mode of experimental brewhouse, guaranteeing the standard course of the process. Mashing diagram is shown in Figure 1.

Lautering. Control of lautering was based on the pressure difference and clarity of wort:

Maximal pressure difference: hydraulic pressure 10 cm.

Maximal turbidity: first wort 25 EBC units, the latest fad 65 EBC units.

Lautering was conducted in a constant volume of 200 liters of wort.

Wort boiling. Three wort boiling systems were used: Classical (atmospheric) boil, dynamic low-pressure boil and low-pressure boil. The set boiling parameters were as follows:

Low-pressure boil

Overpressure 15 kPa, temperature 102 °C, boiling time 65 min.

Hopping:

1st dose: Hop extract (50% of α -acids dose) at the start.

2nd dose: Pellets (30% of α -acids dose) after 30 min.

3rd dose: Pellets (20% of α -acids dose) 10 min. before the end.

Dynamic low-pressure boil

Maximal overpressure 15 kPa (three pressure peaks, the same increase and decrease of overpressure, a decrease back to atmospheric pressure), temperature 102 °C, boiling time 70 min.

Atmosférický chmelovar

Teplota 100 °C, doba varu 90 minut

Dávkování chmele:

1. Chmelový extrakt (50 % dávky α -kyseliny) na začátku
2. Pelety (30 % dávky α -kyseliny) 45 minut po zavaření
3. Pelety (20 % dávky α -kyseliny) 10 minut před koncem

Odpocinek po vířivé kádi byl 20 minut pro všechny varianty chmelovaru.

Mladiny byly odkaleny ve vířivé kádi a dochlazeny deskovým chladičem na zákvasnou teplotu 10 °C a provzdušněny na obsah rozpuštěného kyslíku $8 \pm 0,5$ mg/l.

Kvašení a finální operace. Hlavní kvašení proběhlo v cylindro-kónických tancích (CKT). Mladina byla zakvašena dávkou 220 g/h lisovaných násadních kvasnic kmene č. 95 sbírky VÚPS. Maximální teplota hlavního kvašení byla nastavena na $12 \pm 0,1$ °C. Po dosažení rozdílu mezi zdánlivým a dosažitelným prokvašením cca 10 % byl obsah CKT během 24 hodin zchlazen na teplotu 5–6 °C a mladé pivo bylo sudováno do ležáckých tanků. Teplota v ležáckém sklepě se pohybovala v rozmezí 1–2 °C. Doba ležení byla cca 21 dní. Hraďící tlak byl udržován na hodnotě 100 kPa.

Piva byla filtrována deskovým filtrem a upravena odplyněnou karbonizovanou vodou na extrakt původní mladiny 12 %. Piva byla stočena do láhví na strojovém plniči s dvojitou evakuací a pasterována na 20 PU. Při veškerých manipulacích s pivem během filtrace a stáčení byl použit oxid uhličitý.

2.2 Analýzy

Rozbory sladu, chmele, sladiny, mladiny a piv byly provedeny podle Analytiky EBC (Anonymus, 2010) včetně jednotek hořkosti (EBC 9.8) a α - a iso- α -kyseliny (EBC 7.8). Pěnivost piv (metoda NIBEM), číslo kyseliny thiobarbiturové (TBA) a anthokyanogeny byly měřeny podle Analytiky MEBAK (Anonymus, 2002). Antioxidační (antiradikálová) ak-

Hopping:

- 1st dose: Hop extract (50% of α -acids dose) at the start.
- 2nd dose: Pellets (30% of α -acids dose) after 30 min.
- 3rd dose: Pellets (20% of α -acids dose) 10 min. before the end.

Atmospheric boil

Temperature 100 °C, boiling time 90 min.

Hopping:

- 1st dose: Hop extract (50% of α -acids dose) at the start.
- 2nd dose: Pellets (30% of α -acids dose) after 45 min.
- 3rd dose: Pellets (20% of α -acids dose) 10 min. before the end.

Break was separated in the whirlpool tub (20 min. rest for all three methods after the separation); wort was cooled by plate cooler to the fermentation temperature of 10 °C and aerated at dissolved oxygen content 8 ± 0.5 mg/L.

Fermentation and final operations. Primary fermentation was carried out in cylindrical-conical tanks (CCT). Inoculation dose of pressed lager yeast, strain No. 95 of RIBM collection was 220 g/hL. Maximum temperature of fermentation was set to 12 ± 0.1 °C. After reaching the apparent and the achievable attenuation degree difference 10% rel., CCT content was cooled to a temperature of 5–6 °C within 24 hours and then transferred to lager tanks. The temperature in the lager cellar was between 1–2 °C. Maturation time was 21 days. Upstream pressure was maintained at 100 kPa.

Beer was filtered with a plate filter and adjusted by the use of degassed carbonized water to the original extract of 12%. Beer was bottled on machine filler with double evacuation and pasteurized at 20 PU. Carbon dioxide was used in all operations during beer filtration and bottling.

Tab. 2 Výsledky rozboru chmelových produktů / Table 2 Results of hop products analysis

Hop product		extract	pellets
α -kyseliny / α -acids	%	48.6	3.44
β -kyseliny / β -acids	%	17.2	5.24
anthokyanogeny / anthocyanogens	mg/g	3.1	70.5
flavonoidy / flavanoids	mg/g	0	12.4
celkové polyfenoly / total polyphenols	mg/g	3	57.2
DPPH-ARP / DPPH-ARP	%	3	52.4

DPPH ARP antiradikálový potenciál/antiradical potential

Tab. 3 Výsledky chemické analýzy mladiny / Table 3 Results of chemical analysis of wort

extrakt / extract	% w/w	12.0	12.3	12.4
dosažitelné prokvašení / limit attenuation	%	77.9	78.1	78.5
anthokyanogeny / anthocyanogens	mg/L	82.1	83.4	86.6
flavonoidy / flavanoids	mg/L	48.7	47.7	47.7
celkové polyfenoly / total polyphenols	mg/L	364	380	369
TBA / TBA		46	49	47
DPPH ARP / DPPH ARP	%	67.9	72.5	72.6
hořkost / bitterness	IBU	52	53	51
α -kyseliny / α -acids	mg/L	17.2	19.1	18.3
iso- α -kyseliny / iso- α -acids	mg/L	36	38.6	37.4
trans-iso- α -kyseliny / trans-iso- α -acids	mg/L	10.8	11.8	11.3
cis-iso- α -acids / cis-iso- α -acids	mg/L	26.1	26.8	25.1
cis/trans poměr / cis/trans ratio		2.41	2.27	2.23
DMS / DMS	ug/L	57	50	52
PDMS / PDMS	ug/L	92	75	66

NT nízkotlaký chmelovar/ low-pressure wortboiling

NDT nízkotlaký dynamický chmelovar/ dynamic low-pressure wortboiling

ATM atmosférický chmelovar/ atmospheric wortboiling

DPPH ARP antiradikálový potenciál/antiradical potential

DMS dimethylsulfid/dimethyl sulphide

PDMS prekurzory dimethylsulfidu/precursors of dimethyl sulphide

2.2 Analysis

Common analyses of malt, hop products, sweet wort, wort and beer were performed according to EBC Analytics (Anonymus, 2010) including bitterness units (EBC 9.8) and α - and iso- α -acids (EBC 7.8). Head retention (NIBEM method), thiobarbituric acid number (TBA) and anthocyanogens were measured according to MEBAK Analytics (Anonymus, 2002). Scavenging (antiradical) activity of wort and beer was determined using DPPH (Mikyška et al., 2006). Dimethyl sulfide (DMS) and its precursors (PDMS) were determined by the RIBM gas chromatography method (RIBM K15). Sensory active volatiles and essential oils in beer were determined by gas chromatography methods (RIBM K10 and K29). For sensory analysis of fresh beer by certified panel of RIBM three methods, descriptive method (Čejka et al., 2002), bitterness lingering assessment (Mikyška and Čejka, 2013) and triangle test (Anonymus, 2010) were employed.

3 RESULTS AND DISCUSSION**3.1 Wort**

Final extract of wort was in relation with the tested wort boiling system (Table 3). The atmospher-

tivita mladiny a pivo byla stanovena pomocí DPPH (Mikyška et al., 2006). Dimethylsulfid a jeho prekursory byly stanoveny metodou vypracovanou na VÚPS (metoda K15 VÚPS). Senzoricky aktivní těkavé látky a silice v pivu byly stanoveny metodami plynové chromatografie vypracovanými na VÚPS (metody K10 a K29 VÚPS). Pro senzorickou analýzu čerstvého piva certifikovaným panelem VÚPS byly použity tři metody, deskriptivní metoda (Čejka et al., 2002), metoda dozrívání hořkosti (Mikyška a Čejka, 2013) a trojúhelníkový test (Anonymus, 2010).

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

3.1 Mladina

Extrakt mladiny byl v relaci s použitou technologií chmelovaru (tab. 3). Atmosférický chmelovar měl celkový odpar 8 %, u dynamického nízkotlakého chmelovaru byl odpar 5 %, nízkotlaký chmelovar v uzavřeném systému má odpar zanedbatelný. Pro porovnání chemického složení mladiny z testovaných variant byly hodnoty vztaženy na koncentraci extraktu 12 % (tab. 4).

Hodnoty hořkých látek v mladinách s nízkotlakými variantami chmelovaru byly vyrovnané, u atmosférického chmelovaru byla stanovena hodnota nižší o 3 JH (5,7 %). Obsah α -kyseliny a iso- α -kyseliny stanovený kapalinovou chromatografií byl u varianty nízkotlakého dynamického chmelovaru mírně vyšší, o 1,5 mg/l (4,4 %). Rozpouštění α -kyseliny, jejich izomerizace a následná částečná degradace iso- α -kyseliny jsou dynamické procesy závislé na době a teplotě varu. Rozdílný trend v hodnotách hořkosti a obsahu specificky stanovených iso- α -kyseliny je možno vysvětlit nižší specifičností první jmenované metody, kterou jsou stanoveny i další látky, zejména rozkladné produkty β -kyseliny (Krofta et al., 2013). Poměr cis a trans iso- α -kyseliny velmi mírně klesal od tlakového po atmosférický chmelovar.

Rozdíly v obsahu celkových polyfenolů, flavanoidů a anthokyanogenů v mladinách byly nevýznamné. Z pohledu rozpouštění polyfenolových látek chmele a reakcí polyfenolů v průběhu chmelovaru nebyly mezi testovanými variantami chmelovaru zjištěny zásadní rozdíly.

Termické zatížení mladiny hodnocené číslem kyseliny thiobarbiturové (TBA) nebylo významně odlišné (TBA = 45–48). Nejvyšší hodnota byla stanovena pro nízkotlaký dynamický chmelovar. Antiradičkový potenciál mladiny (DPPH ARP) byl u mladiny vyrobených nízkotlakým chmelovarem velmi mírně nižší (3,1 %) v porovnání s ostatními dvěma technologiemi.

Je možno konstatovat, že obsah a složení výše uvedených látek v mladinách bylo srovnatelné, přestože hodnoty byly částečně odlišné, rozdíly se pohybovaly na hranici chyb stanovení.

Obsah dimethylsulfidu (DMS) a jeho prekursory (PDMS) významně závisel na variantě chmelovaru. Obsah PDMS v mladině vyrobené nízkotlakým chmelovarem byl o 43 % vyšší, obsah v mladině vyrobené dynamickým nízkotlakým chmelovarem byl o 14 % vyšší v porovnání s atmosférickým chmelovarem. Tlakové pulzy i při zkrácené době varu přinesly relativně uspokojivou redukci obsahu DMS a PDMS. Tyto výsledky jsou v relaci s literárními údaji (Rübsam et al., 2010).

Tab. 4 Výsledky chemické analýzy mladiny přepočtené na extrakt 12 % / Table 4 Results of chemical analysis of wort related to extract 12%

		NT	NDT	ATM
anthokyanogeny / anthocyanogens	mg/L	82.1	81.3	83.7
flavonoidy / flavanoids	mg/L	48.7	46.7	46.1
celkové polyfenoly / total polyphenols	mg/L	364	372	356
TBA / TBA		46	48	45
DPPH ARP / DPPH ARP	%	67.9	70.9	70.1
hořkost / bitterness	IBU	52	51.8	49.3
α -kyseliny / α -acids	mg/L	17.2	18.7	17.7
iso- α -kyseliny / iso- α -acids	mg/L	36	37.7	36.1
trans-iso- α -kyseliny / trans-iso- α -acids	mg/L	10.8	11.6	10.9
cis-iso- α -acids / cis-iso- α -acids	mg/L	26.1	26.2	24.3
cis/trans poměr / cis/trans ratio		2.41	2.27	2.23
DMS / DMS	ug/L	57	49	50
PDMS / PDMS	ug/L	92	73	64

DPPH ARP antiradičkový potenciál/antiradical potential

DMS dimethylsulfid/dimethyl sulphide

PDMS prekursory dimethylsulfidu/precursors of dimethyl sulphide

Tab. 5 Výsledky chemické analýzy piva / Table 5 Results of chemical analysis of beer

		NT	NDT	ATM
původní extrakt mladiny / original extract	% w/w	11.99	12.02	12.04
zdánlivé prokvašení / apparent attenuation	%	77.4	77.6	77.1
skutečné prokvašení / real attenuation	%	64	64.2	63.8
pH / pH		4.41	4.41	4.44
barva / colour	EBC	9.4	9.4	9.5
pěnovost (NIBEM) / head retention	mm/30s	320	291	283
DPPH ARP / DPPH ARP	%	61.4	61.9	61.5
hořkost / bitterness	IBU	30.1	29.9	29.5
α -kyseliny / α -acids	mg/L	2.4	2.3	1.8
iso- α -kyseliny / iso- α -acids	mg/L	35.4	33.9	32.4
trans-iso- α -kyseliny / trans-iso- α -acids	mg/L	10.7	10.2	9.6
cis-iso- α -acids / cis-iso- α -acids	mg/L	24.8	23.7	22.8
cis/trans poměr / cis/trans ratio		2.32	2.33	2.36

ic wort boiling had the total evaporation of 8%, the dynamic low-pressure wort boiling had the evaporation of 5% and finally the low-pressure wort boiling in a closed system showed only negligible evaporation. Results of wort analysis were related to the extract concentration of 12% for the comparison of chemical composition of the tested variants (Table 4).

Values of the bitter substances in worts with low-pressure wort boiling variants were equal, the atmospheric boiling wort was found to be lower by 3 IBU (5.7%). The content of α -acids and iso- α -acids measured by liquid chromatography in wort of dynamic pressure wort boiling variant was slightly higher, compared to other systems, by 1.5 mg/L (4.4%). Dissolution of the α -acids, the isomerization and subsequent partial degradation of iso- α -acids are dynamic processes, depending on the time and temperature of boiling. The different trend in terms of bitterness (EBC 9.8 method) and the content of the specifically analyzed iso- α -acids (EBC 7.8 method) can be explained by a lower specificity of first mentioned method concerning other substances, particularly decomposition products of β -acids (Krofta et al., 2013). The ratio of cis/trans iso- α -acids slightly declined from the atmospheric to the pressure wort boiling.

Differences in the content of total polyphenols, flavonoids and anthocyanogens in worts were insignificant. In terms of hop polyphenol compounds dissolution and reactions of polyphenols during wort boiling, significant differences among the tested variants of wort boiling were not detected.

Thermal load of wort rated by thiobarbituric acid number (TBA) was not significantly different (TBA = 45–48). The highest value detected, was for the dynamic low-pressure wort boiling. Antiradical potential of worts (DPPH ARP) was slightly lower (3.1%) in wort produced by low-pressure wort boiling compared with the other two technologies.

Tab. 6 Obsah senzoričky aktivních těkavých látek v pivu / Table 6 Content of sensory active volatiles in beer

Těkavé látky (mg/l) / Volatiles (mg/L)	NT	NDT	ATM
acetaldehyd / acetaldehyde	4.5	3.4	3.9
dimethylsulfid (μg/l) / dimethyl sulphide (μg/L)	49	21.6	23.2
mravenčan ethylnatý / ethyl formiate	1.3	3.2	0.5
octan ethylnatý / ethyl acetate	16.5	16.5	19.2
propanol / propanol	16.0	16.1	17.1
iso-butanol / iso-butanol	8.0	8.6	8.5
iso-amylacetát / iso-amyl acetate	1.2	1.2	1.5
2- a 3-methyl-butanol / 2- and 3-methyl butanol	40.9	41.5	39.2
kaprylan ethylnatý / ethyl octoate	0.2	0.2	0.3
ethyl-hexanol / ethyl hexanol	0.1	0.1	0.1
octan fenyl-ethylnatý / phenyl-ethyl acetate	0.2	0.2	0.4
β-fenyl-alkohol / β-phenyl alcohol	6.2	6.1	7.1
alkoholy / alcohols	71.2	72.4	72
estery / esters	19.7	21.7	22.2
poměr A/E / A/E ratio	3.62	3.33	3.25

Tab. 7 Obsah silic v pivu / Table 7 Content of essential oil in beer

Silice (μg/l) / Essential oils (μg/L)	NT	NDT	ATM
α-pinen / α-pinene	0.11	0.09	0.36
β-pinen / β-pinene	0.30	0.25	0.05
myrcen / myrcene	7.31	2.83	3.92
limonen / limonene	0.57	0.37	0.65
linalol / linalool	76.9	19.8	26.6
β-karyofylen / β-karyophyllene	1.00	0.52	0.56
4-terpineol / 4-terpineol	2.49	1.26	1.44
β-farnesen / β-farnesene	0.76	0.71	2.15
α-humulén / α-humulene	0.85	0.67	0.89
α-terpinol / α-terpinol	7.14	3.58	4.64
cis-geraniol / cis-geraniol	2.66	1.79	1.77
α-ionon / α-ionone	0.08	0.13	0.16
β-ionon / β-ionone	0.53	0.31	0.52
α-iron / α-irone	0.19	0.26	0.1
β-karyofylen epoxid / β-karyophyllene epoxide	0.84	0.68	1.36
farnesol / farnesol	31.7	27.5	16.6

3.2 Pivo – chemické analýzy

Výsledky chemického rozboru pív jsou shrnuty v tab. 5. Barva pív byla prakticky shodná. Nebyly zjištěny rozdíly v antiradikálové aktivitě. Hořkost hodnocená metodou EBC 9.8 byla prakticky vyrovnaná s náznamem trendu k poklesu od tlakového po atmosférický chmelovar (tab. 5). Obsah iso-α-kyselin v pivu klesal v řadě nízkotlaký – nízkotlaký dynamický – atmosférický chmelovar. Všechna tři piva měla srovnatelný poměr cis/trans stereoisomerů. Pro mladinu s nejvyšším obsahem trans-iso-α-kyselin (nejnižším poměrem cis/trans, atmosférický var) byla tedy zjištěna největší ztráta isohumulonů. Nízkotlaké varianty chmelovaru měly vyšší výtěžnost chmelových α-kyselin v pivu. Opačný trend oproti obsahu iso-α-kyselin byl zaznamenán pro stabilitu pěny. Tyto látky jsou významným faktorem pro kvalitu pívni pěny.

3.3 Pivo – senzoričky aktivní látky

Obsah silic v pivu závisel na použité technologii chmelovaru. Piva z mladiny vyrobených nízkotlakým chmelovarem obsahovala větší množství silic, markantní rozdíly byly v obsahu linaloolu, myrcenu, farnesolu a terpineolu. Naopak, pro atmosférický chmelovar byl zjištěn vyšší obsah β-farnesenu. Obsah silic v pivech z mladiny vyrobených nízkotlakým dynamickým a atmosférickým chmelovarem byl podstatně méně odlišný oproti dvojici nízkotlaký

It can be said, that the set parameters of boiling and hopping were right, the content and composition of above mentioned compounds in worts were comparable. Despite the fact that values were partly different, differences were at the margin of error determination.

Content of dimethyl sulfide (DMS) and its precursors (PDMS) was strongly dependent on the variant of wort boiling. Content of PDMS in the wort produced by low-pressure wort boiling and dynamic low-pressure wort boiling was about 43% and 14% higher compared with the atmospheric wort boiling system. Pressure pulses, even with reduced boiling time, yielded relatively satisfactory reduction of the content of DMS and PDMS. These results are in relation with literature data (Rübsam et al., 2010)

3.2 Beer – chemical analyzes

Results of chemical analysis of the beers are shown in Table 5. Color of beers was virtually identical. In the antiradical activity, the differences were not found. Bitterness (bitter substances) evaluated according to EBC 9.8 method was almost balanced with a hint of a trend to decrease from the atmospheric wort boiling to low-pressure wort boiling (Table 5). On the other hand, the content of iso-α-acids in beer declined in a row of low-pressure – dynamic low-pressure – atmospheric wort boiling. All three beers were comparable in cis/trans stereoisomers ratio. Thus greatest loss of isohumulones during wort cooling and fermentation for wort with the higher trans-iso-α-acids (lowest cis/trans ratio, atmospheric boiling) was detected. Also, low-pressure variants of wort boiling resulted in higher utilization rate of α-acids from hops in beer.

A head retention value, and foam stability showed a trend opposite to the iso-α-acids content. These substances are an important factor for the quality of the beer foam.

3.3 Beer – sensory active compounds

The essential oil content in experimental beer depended on the technology of wort boiling. In beer resulting from wort produced by low-pressure wort boiling in larger quantities of essential oils were found; striking differences were in the content of important substances – linalool, myrcene, farnesol and terpineol. Conversely, higher content of β-farnesene was found for the atmospheric wort boiling. The essential oil content in beers brewed by dynamic low-pressure and atmospheric pressure wort boiling was significantly less different compared to a pair of low-pressure and dynamic low-pressure wortboiling (Table 6). Essential oils of hops and their transformation products arising forming from the wort boiling are involved namely by spicy and floral aromas in the sensory profile of beer (Kishimoto et al., 2006).

There were identified some trends of the volatile substances formed during the fermentation, alcohols and esters, in relation to the technology of the wort boiling (Table 7). The ester content in beers increased slightly from the low-pressure wort boiling to atmospheric wort boiling. The beer from the wort produced by the low-pressure wort boil-

a dynamický nízkotlaký chmelovar (tab. 6). Silice chmele a jejich transformační produkty vznikající při chmelovaru se podílejí na senzorickém profilu piva hlavně kořenitými a květinovými vůněmi (Kishimoto et al., 2006).

V pivech byly zjištěny určité trendy obsahu těkavých látek tvořených v průběhu kvašení, alkoholů a esterů ve vztahu k technologii chmelovaru (tab. 8). Obsah esterů v pivech mírně stoupal od nízkotlakého chmelovaru po atmosférický chmelovar. Pro piva z mladiny vyrobených nízkotlakým chmelovarem byl zjištěn vyšší poměr alkoholů a esterů (3,62) v porovnání s dynamickým nízkotlakým (3,33) a atmosférickým chmelovarem (3,25). U piv z mladiny vyrobených nízkotlakým chmelovarem byl stanoven přibližně dvojnásobný obsah DMS (49 µg/l) v porovnání s dalšími testovanými variantami chmelovaru. Hranice senzorického vjemu DMS v pivu závisí na typu piva. DMS může být rozpoznán při koncentraci ve výši 35–40 µg/l, při koncentraci 100 µg/l dává prokazatelně pivu chuť mladinovou a po zelenině (Basařová et al., 2010).

3.4 Pivo – Senzorická analýza

Piva z testovaných variant chmelovaru byla v celkovém dojmu (sestupná škála 1–9) hodnocena mezi stupněm 3 a 4, v senzorickém profilu nebyly zaznamenány žádné závažné vady. Piva z mladiny vyrobené nízkotlakým chmelovarem byla hodnocena o 0,2–0,3 bodu hůře v porovnání s ostatními variantami. U piv s aplikací nízkotlakého varu byl zaznamenán slabý trend k vyšším hodnotám senzorické trpkosti, sladkosti a kyselosti (tab. 8).

U piv z mladiny vyrobených oběma nízkotlakými variantami chmelovaru byl zjištěn mírně drsnější vjem hořkosti po polknutí i po 40 s oproti pivu z atmosférického chmelovaru. Piva z mladiny vyrobených nízkotlakým dynamickým chmelovarem měla pomalejší dozínání intenzity hořkého vjemu v porovnání s ostatními testovanými variantami (tab. 8). Trojúhelníková zkouška odlišila pivo vyrobené atmosférickým chmelovarem od piva vyrobeného nízkotlakým chmelovarem (sedm správných odpovědí z devíti, významné na $\alpha = 0,05$), většina z hodnotitelů (šest), kteří odlišili správně, preferovala pivo vyrobené klasickým chmelovarem. Rozdíl mezi atmosférickým a tlakovým dynamickým chmelovarem byl neprůkazný (čtyři správné odpovědi z devíti).

3.5 Spotřeba času a energie

Spotřeba páry při pokusných chmelovarech je uvedena v tab. 9. Úspory pro dynamický nízkotlaký chmelovar byly 15 % a pro nízkotlaký chmelovar 25 %. Časová úspora pro dynamický nízkotlaký chmelovar byla 22 %, pro nízkotlaký chmelovar 28 %.

4 ZÁVĚR

V pilotních experimentech byly dva základní nízkotlaké systémy chmelovaru porovnány s klasickým atmosférickým chmelovarem. Pozornost byla zaměřena na kvalitativní parametry piva, zejména senzorickou kvalitu. Procesní parametry byly navrženy tak, aby konverze chmelových α -kyselin a tepelné zatížení mladiny byly u všech tří variant srovnatelné.

Tyto pilotní experimenty ukázaly některé přednosti a slabiny nízkotlakého varu. Přes vyváženě redukováný čas varu a stejný obsah iso- α -kyselin v mladině, ukázaly nízkotlaké chmelovary zvyšující se výnos iso- α -kyselin v pivu v řadě atmosférický, dynamický nízkotlaký a nízkotlaký chmelovar.

Nízkotlaký var v uzavřeném varném systému ušetřil významné množství času a energie (28 % a 25 %), ale senzorická kvalita piva vyrobeného tímto chmelovarem byla z důvodu odlišného množství některých těkavých látek průkazně odlišná (hodnocena jako méně

Tab. 8 Výsledky senzorické analýzy piva – deskriptivní metoda / Table 8 Results of sensory evaluation of beer – descriptive method

	NT	NDT	ATM
hořkost / <i>bitterness</i>	3.0	3.1	2.9
hořkost-charakter / <i>bitterness-character</i>	2.9	2.9	2.6
hořkost po 40 s / <i>bitterness-after 40 s</i>	2.2	2.6	2.2
hořkost-charakter po 40 s / <i>bitterness-character after 40 s</i>	2.4	2.4	2.2
říz / <i>carbonation</i>	3.0	3.0	2.8
plnost / <i>body-fulness</i>	3.1	3.0	3.1
trpkost / <i>astringency</i>	1.3	1.1	1.0
sladkost / <i>sweetness</i>	1.1	0.8	0.9
kyselost / <i>sourness</i>	0.7	0.7	0.4
chmelová / <i>hoppy</i>	0.4	0.4	0.4
ovocná-esterová / <i>fruity-esteric</i>	1.2	1.4	1.2
celkový dojem / <i>overall impression</i>	3.6	3.4	3.3

deskriptory/descriptors: stoupající škála od 0 (neznatelný) do 5 (velmi silný) / ascending scale of 0 (imperceptible) to 5 (very strong)

hořkost-charakter/ *bitterness-character*: škála 1 (jemná) až 5 (drsná, ulpívající) / scale 1 (soft) to 5 (harsh, lingering)

celkový dojem/ *overall impression*: klesající škála 1–9 / descending scale of 1–9

ing had higher alcohols/esters ratio (3.62) compared with the dynamic overpressure boiling (3.33) and atmospheric wort boiling (3.25). In the beer from the wort produced by the low-pressure wort boiling with constant pressure, approximately twofold content of DMS (49 µg/L) was detected compared with the other tested variants of the wort boiling. A threshold of sensory perception of DMS in beer depends on the type of beer. DMS can be detected at a concentration of 35–40 mg/L, it demonstrably gives a wort and vegetables aftertaste of the beer at a concentration of 100 mg/L (Basařová et al., 2010).

3.4 Beer – sensory analyzes

Evaluated score of overall impression (descending scale 1–9) of beers of the tested variants was between grade 3 and 4 in the sensory profile. There were no serious defects in the sensory profile. Beer produced by low-pressure wort boiling was assessed by 0.2–0.3 points lower, compared with other two variants. When applying low-pressure wort boiling, weak trend towards higher levels of sensorial harshness, sweetness and sourness of beer was recorded (Table 8).

The beers brewed by both low-pressure wort boiling systems was found slightly harsher in bitterness perception after ingestion, even after 40s, compared with the beer brewed by atmospheric wort boiling. Beer produced by dynamic low-pressure wort boiling had a slower decay of the intensity of bitter sensation compared with other tested systems (Fig. 2).

The triangular test distinguishes the beer produced from atmospheric wort boiling from beers made by low-pressure wort boiling (seven right responses out of nine, significant at $\alpha=0.05$), majority (six) of right responding assessors preferred beer brewed by classical boil. The difference between atmospheric pressure and dynamic low-pressure wort boiling was inconclusive (four right responses of nine).

3.5 Time and energy consumption

Steam consumption in experimental wort boiling is shown in Table 9. Savings for dynamic low-pressure wort boiling and for the low-pressure wort boiling was 15% and 25% respectively. Time savings for dynamic low-pressure wort boiling and for the low-pressure wort boiling was 22% and 28% respectively.

4 CONCLUSION

In pilot experiments, the two basic low pressure systems of the wort boiling were compared with the classical atmospheric wort boiling. Attention was focused on quality parameters of the beer, especially sensory quality. Process parameters were designed to make the conversion of the hop α -acids and thermal charge of all three variants comparable.

These pilot experiments have shown some strengths and weaknesses of low-pressure boiling. Over the balance-reduced boiling time and equal iso- α -acids content in worts, low-pressure wort boiling systems

Tab. 9 Úspory času a energie/ Table 9 Time and energy savings

		NT	NDT	ATM
pára / steam	kg	38.2	43.3	51.1
úspora / saving	%	25	15	0
čas / time	min.	65	70	90
úspora / saving	%	28	22	0

příjemná) v porovnání s atmosférickým systémem chmelovaru. V zásadě může být tato nevýhoda dále řešena stripováním, postevaporací nežádoucích těkavých látek po ukončení chmelovaru (vakuové odpaření, mžikové odpaření), ale tyto operace vyžadují další investiční náklady a provozní náklady.

Senzorická kvalita piva vyrobeného dynamickým nízkotlakým a atmosférickým varem se průkazně neodlišovala, senzorický profil byl bližší ke klasickému chmelovaru. Tento systém se jeví jako slibný pro další výzkum optimalizace tlakových pulzů a rozložení chmelových dávek pro přizpůsobení této technologie varu pro výrobu Českého piva. Tato technologie pracující v uzavřeném / otevřeném systému ušetří značné množství času a energie (cca o 22 % a 15 %) v porovnání s 90 min. klasickým atmosférickým chmelovarem.

V tomto článku jsou uvedeny výsledky základní pilotní studie, které budou ověřovány a rozšiřovány v další práci na této problematice.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena Ministerstvem zemědělství České republiky v rámci projektu RO1914 "Výzkum kvality a zpracování sladařských a pivovarských surovin" a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci projektu LO1312.

LITERATURA/ REFERENCES

- Aitken, R.A., Bruce, A., Harris, J.O., Seaton, J.C., 1970: The Bitterness of Hop-derived Materials in Beer. *J. Inst. Brew.* 76: 29–36.
- Anonymus, 2002: Brautechnische Analysenmethoden, Band II, ME-BAK, Freising-Weihenstephan.
- Anonymus, 2008: Official Journal of the EU C016, 23/01/2008, 0014–0022.
- Anonymus, 2010: Analytica EBC, European Brewery Convention, Carl-Hans Verlag, Nürnberg.
- Anonymus, 2012: Czech Hop Varieties, Hop Research Institute, Žatec. ISBN 978-80-87357-11-8.
- Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek, T., 2010: Pivovarství (Brewing), VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-734-7.
- Callemien, D., Bennani, M., Counet, C., Collin, S., 2005: Which Polyphenols are Involved in Aged Beer Astringency? Assessment by HPLC and Time-intensity Method. *Proc. Eur. Brew. Congr.*, Prague, Fachverlag Hans Carl: Nürnberg, CD-ROM, 809–814.
- Čejka, P., Kellner, V., Čulík, J., Horák, T., Jurková, M., 2002: Modern Methods of Evaluating the Results of Sensory Analysis. *Kvasny Prum.* 48 (5): 114–119.
- Esslinger, H. M., 2009: Handbook of Brewing, Wiley-VCH Verlag. ISBN 978-3-527-31674-8.
- Haseleu, G., Intemann, D., Hofmann, T., 2009: Structure Determination and Sensory Evaluation of Novel Bitter Compounds Formed from β -acids of Hop (*Humulus lupulus* L.) upon Wort Boiling. *Food Chem.* 116: 71–81.
- Herrmann, M., Klotzbücher, B., Wurzbacher, M., Hanke, S., Kattein, U., Back, W., Becker, T., Krottenthaler, M., 2010: A New Validation of Relevant Substances for the Evaluation of Beer Aging Depending on the Employed Boiling System. *J. Inst. Brew.* 116(1): 41–48.
- Hughes, P.S., Simpson, W.J., 1996: Bitterness of Congeners and Stereoisomers of Hop-Derived Bitter Acids Found in Beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 54(4): 234–237.
- Intemann, D., Hofmann T., 2010: On the Autooxidation of Bitter-Tasting Iso- α -acids in Beer. *J. Agric. Food Chem.* 58: 5059–5067.
- Jaskula, B., Aerts, G., De Cooman, L., 2010: Hop α -acids Isomerization and Utilisation: an Experimental Review. *Cerevisia* 35: 57–70.
- Kishimoto, T., Wanikawa, A., Kono, K., Shibata, K., 2006: Comparison of the Odor-active Compounds in Unhopped Beer and Beers

showed increased yield of iso- α -acids in beer in a series of atmospherics, dynamic low-pressure and low-pressure wort boiling.

Low-pressure boiling in closed boiling system saved significant amount time and energy (28% and 25%), but sensorial quality of beer produced by this wort boiling was, due to different

amount of some volatile compounds, significantly different (evaluated as less pleasant) compared to the classical atmospheric boiling system. In principle, this disadvantage could be further solved by wort stripping, and post evaporation of undesirable volatiles after wort boiling (vacuum evaporation, flash evaporation), but this operation requires additional investment and operating costs.

Sensorial quality of beer prepared by the use of the dynamic low-pressure and the atmospheric boiling did not differ significantly; sensory profile was closer to classical wort boiling. Thus this system seems to be promising for further research on the optimal distribution of pressure peaks and hop doses to adapt this boiling technology for the Czech beer production. This technology working in a closed/open system will save considerable amount of time and energy (approximately 22% and 15%) compared to the 90 min. classical atmospheric wort boiling.

This article presents the results of basic pilot study that will be verified and extended in the further work on this issue

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic within the project RO1914 "Research on quality and processing of malting and brewing raw materials" and by the Ministry of Education, Youth and Sports within the project LO1312.

- Hopped with Different Hop Varieties. *J.Agric. Food Chem.* 54: 8855–8861.
- Kosař, K., Procházka, S., 2000: Production Technology of Malt and Beer, RIBM, Prague. ISBN 80-902658-5-3.
- Krofta, K., Vrabcová, S., Mikyška, A., Jurková, M., 2013: The Effect of Hop β -acids Oxidation Products on Beer Bitterness. *Kvasny Prum.* 59(10–11): 306–312.
- Malowicki, M.G., Shellhammer, T.H., 2005: Isomerization and Degradation Kinetics of Hop (*Humulus lupulus* L.) Acids in a Model Wort-Boiling System. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4434–4439.
- McLaughlin, I. R., Lederer, C., Shellhammer, T.H., 2008: Bitterness-Modifying Properties of Hop Polyphenols Extracted from Spent Hop Material. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 66(3): 174–183.
- Mikyška, A., Čejka, P., 2013: Determination of Sensorial Bitterness of Beer. Certified methodology, RIBM Prague. ISBN 978-80-86576-59-6.
- Mikyška, A., Krofta, K., Hašková, D., 2006: Evaluation of Antioxidant Properties of Hop and Hop Products. *Kvasny Prum.* 52 (7–8): 214–225.
- Mitter, W., Biendl, M., Kaltner, D., 2001: Behaviour of Hop Derived Aroma Substances During Wort Boiling. Monograph 31, EBC, Symposium Flavour and Flavour Stability, Nancy, France.
- Mitter, W., Kaltner, D., Lambertsen, T., 2007: Influence of Different Boiling Systems on Development of Bitter and Aroma Substances. *Brauwelt Int.* 25 (3): 148–152.
- Peacock, V. E., 2010: The Value of Linalool in Modeling Hop Aroma in Beer. *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 47 (4): 29–32. doi:10.1094/TQ-47-4-1102-01.
- Rübsam, H., Becker, T., Krottenthaler, M., 2010: Optimierung der Sudhaus Technologie mit Dimethylsulfid als Leitkomponente. *Brauwelt* 150 (18): 534–539.
- Verzele, M., De Keukeleire, D., 1991: Chemistry and Analysis of Hop and Beer Bitter Acids. Developments in food science 27. Elsevier, Amsterdam. ISBN 0-444-88165-4.