

Z výzkumu a praxe

STANDARDNOST PIVOVARSKÉ VÝROBY A KVALITY PIVA

Doc. Ing. JAN ŠAVEL, CSc., Budějovický Budvar, n.p., České Budějovice

Klíčová slova: standardnost, řízení výroby, parametry

1 PODSTATA A ŘÍZENÍ PIVOVARSKÉ VÝROBY

Standardnost výrobku znamená vyrovnanost jeho vlastností i jejich stabilitu v čase. Stav výrobku popisuje soubor znaků za předpokladu, že existují jejich optimální hodnoty s příslušnými rozptyly, kterých je možno dosáhnout. V reálné praxi tento cíl často není naplněn, a tak lze alespoň trvat na splnění tohoto požadavku u některých znaků za cenu určitého kompromisu u jiných.

Úspěch hodnocení kvality je silně závislý na volbě znaků a měřicích metod. Naměřené hodnoty využívají také technologové pro řízení výroby. Je vhodné si uvědomit, jak výrazně ovlivňuje výběr znaků a vývoj analytických metod standardnost výroby.

V konkrétních podmínkách pивovarské výroby existuje dvojí úroveň odběratelsko-dodavatelských vztahů, kde dodavatelem je např. výrobce sladu a odběratelem distributor piva, přičemž konečné vyhodnocení záleží na spotřebitelích piva.

Pro sladařskou výrobu vystupují jako dodavatelé pěstitelé ječmene, pro pивovarskou výrobu pěstitelé chmele nebo distributoři těchto výrobků včetně chmelových preparátů a dalších pomocných materiálů. Je tedy vhodné zvažovat problematiku řízení jakosti výroby vzhledem k vícenásobným úrovním vlivů, které se postupně kumulují do konečného výsledku, rozhodujícího o úspěchu pивovaru. Nelze pochopitelně opomenout ani dodavatele technologie, kteří se spolu s individuálním návrhem strategie pивovaru opět spolupodílejí na konečném výsledku.

V úsilí o dosažení vysoké standardnosti se proto musí potlačit klasický rozdíl mezi surovinou, meziproduktem a výrobkem. Výrobek jedné části výroby se stává surovinou nebo meziproduktem pro jinou část výroby, na což musí reagovat i kontrolní systém.

Ve sladařství a pивovarství je výroba zpracováním suroviny výrobním procesem se všemi obecnými vlivy, které do ní vstupují. Pro její řízení je nutno znát hodnoty vstupních parametrů surovin a meziproductů, vstupní procesní parametry a jejich předepsané změny během procesu.

Výrobce piva přitom zajímají znaky, charakterizující stav jednotlivých fází procesu, spolu s řídícími veličinami, kterými mohou výsledky procesu ovlivňovat. Kromě jednotlivých řídících parametrů a ovládacích zásahů se používá obecně využitelné vyrovnávání jakosti mísením, neboli řezáním.

Technologové se přitom opírají o poněkud optimistickou víru v determinismus výrobního procesu. Podle ní splnění předepsaného technologického postupu, včetně požadovaných vstupních vlastností suroviny zaručuje požadovanou kvalitu výrobku. Z principiálních důvodů tomu však tak není. Příčinou je nejen přirozený rozptyl vlastností základních výrobních surovin jako biologického materiálu, ale také obecné vlastnosti procesu.

Determinismus je přitom narušován již neznalostí všech vlivů, působících na proces, i neschopností měřit již známé vlivy v reálném čase. Prvemu nedostatku lze čelit získáváním nových poznatků cíleným výzkumem, druhé překážce rozvojem analytických metod a měřicích techniky. Dosud nepoznané vlivy se nyní v sladařství i pивovarství označují jako skryté proměnné, což je termín původně pocházející z kvantové fyziky. Ani při jejich vyloučení však není možné požadavkům determinismu vyhovět.

Při výskytu nepostihnuteľných drobných vlivů vykazuje proces klasické náhodné chování. Kromě toho je známé, že mnohé procesy jsou svou povahou natolik nestabilní, že nepatrné a nepostřehnutelné změny vstupních parametrů mohou výrazně ovlivnit jejich chování. Nestabilita přitom vyplývá z nelineární povahy procesů a zahrnuje v sobě prvky jak uspořádaných oscilací, tak prvky chaosu, znemožňující spolehlivou předpověď chování.

Tento druh chování se označuje jako deterministický chaos a lze se s ním setkat v průběhu hlavního kvašení a dokvašování, při tvorbě pěny ve sklenici piva i v průběhu složitých oxidačních reakcí při stárnutí piva. Významnou část výrobních nástrojů tvoří teorie řízení a statistická kontrola procesu (SPC). Většinou se zabývá vyhodnocováním měřitelných znaků a jejich časovými průběhy. Změny znaků mají buď náhodný, nebo deterministický charakter, to znamená, že mohou vykazovat náhodné kolísání nebo časové trendy, popř. skokové změny příslušných hodnot. Současný aparát SPC se podařilo úspěšně aplikovat v pивovarství [1].

Standardnost výroby se hodnotí podle výskytu hodnot znaků použitím klasické skokové funkce, nebo ztrátové Taguchiho funkce. V skokové funkci mají všechny hodnoty znaku uvnitř tolerančního pásma stejné váhy, což neplatí u Taguchiho funkce [2]. Tento princip předpokládá existenci optimálních hodnot a považuje jakékoliv odchylky za ztrátu výrobního podniku.

Od tohoto faktu se odvozuje určitý skepticizmus k jinak velmi nadějnému Taguchiho principu ve sladařské a pивovarské výrobě. Pro sladaře a pивovárníky je mnohem bližší klasické pojetí skokové funkce, vymezující prostor k rozumnému kompromisu v hodnotách veličin, kde se nevyhnutelné odchylky vybraných veličin kompenzují opět odchylkami dalších veličin.

Při výskytu více znaků lze sice stanovit optimální cílové hodnoty a toleranční meze pro každý z nich, vzájemné vnitřní vazby mezi znaky však znemožní přiblížit se všem cílovým hodnotám současně.

2 ZNAKY VÝZNAMNÉ PRO VÝROBCE I SPOTŘEBITELE

Z metodického hlediska je možné dělení na znaky, důležité pro konečného spotřebitele a na znaky, významné pro výrobce. Znaky vnímané spotřebitelem přitom zahrnují jak skupinu snadno a rychle měřitelných znaků, např. obsah oxidu uhličitého či množství extraktu a alkoholu, tak znaky obtížně měřitelné, ale přitom vysoce významné, jako smyslové znaky, popř. vzhled výrobku a doprovodné služby. Neméně důležité jsou i vlastnosti, často využívané v reklamě o zdravotně výhodných vlastnostech a oblibě výrobku (např. v poslední době diskuse o antioxidačních vlastnostech jednotlivých druhů piva). Samozřejmým požadavkem je zdravotní nezávadnost výrobku a obecná vlastnost nezpůsobit spotřebiteli jakoukoliv újmu. Tyto znaky musí maximálně uspokojovat očekávání a přání spotřebitele.

Tyto vlastnosti ovšem zajímají i výrobce, ale existují znaky, které spotřebitel nevnímá, ale které mají pro výrobce mimořádnou cenu. Týkají se většinou ekonomiky výroby nebo prodeje, popř. naplnění předepsaných zákonných daňových požadavků apod. Mohly by se zahrnout do kategorie znaků se schopností maximálně uspokojovat přání a očekávání výrobce.

3 KOMPLEXNÍ ZNAKY A JEJICH PŘÍKLADY

3.1 Vlastnosti komplexních znaků

Ze skupiny těchto znaků se vyčleňují tzv. komplexní znaky surovin, vykazující některé společné vlastnosti. Jsou často multifaktoriální, tzn. závisí na mnoha faktorech, z nichž některé nemusí být dosud známy. Ze stejného důvodu se obtížně zajišťuje jejich standardnost. Kromě toho mohou mít značný dopad na mnoho spotřebitelsky významných vlastností. Patří tak spíše do kategorie skutečných, nikoliv náhradních

znaků. Rozdíl mezi skutečnou kvalitou a náhradní technickou specifikací musí být co nejmenší.

V průběhu výroby se tyto znaky mění a jejich rozptyl se někdy zvětšuje. V regulačních diagramech je patrný výrazný rozptyl mezi jednotlivými dávkami spolu s dlouhodobými trendy. V regulačních diagramech je také možné zaznamenat dlouhodobé trendy, závislé na ročních surovin. Tyto znaky mají značný vliv na kvalitu výrobku i ekonomiku výroby a mohou spolu částečně souviset. Příkladem těchto znaků jsou např. zkvasitelnost sladin nebo mladiny, kvasná schopnost kvasnic, filtrovatelnost piva, chuťová stabilita piva apod.

Protože většina těchto znaků závisí na obsahu základních sacharidických i dusíkatých látek, existuje naděje dobře je korelovat s infračervenými spektry a získat tak univerzální metodu pro měření v celém procesu, od příjmu suroviny až po výrobek.

Obr. 1 znázorňuje příklad možného průběhu jednotlivých výrobních dávek pro zdánlivé prokvašení piva, specifický výkon provozního filtru a čírosti piva z jeho výstupu

v letech 1997 – 1999. Přes značný rozptyl mezi jednotlivými dávkami lze pozorovat příznivý trend v hodnotách stupně prokvašení piva, ve specifickém výkonu provozního filtru a v čírosti piva za filtrem, přičemž pozorované změny většinou závisely na složení surovin. Z obrázku jsou patrné i určité vazby mezi těmito znaky.

V historii pivovarské vědy se postupovalo většinou deduktivním způsobem, přičemž se zjišťovaly vlivy, působící na kvalitu výrobku a měřily se soubory těchto znaků. Hlavní výhodou tohoto postupu byla zejména rychlost měření, ale rozdíl mezi skutečnou a náhradní charakteristikou kvality se snižoval.

Moderní analytické postupy využívají přímé měření komplexních znaků, nebo alespoň znaků, které kumulují více znaků dohromady. Pro hodnocení vhodnosti mladiny pro kvasný proces se často používá komplexní znak stupeň dosažitelného prokvašení, pro posouzení vhodnosti suroviny pro filtraci znak filtrovatelnost piva.

Komplexní znaky musí být měřitelné v průběhu celé výroby, ačkoliv jsou tím hůře měřitelné a předpověditelné, čím více se blížíme k počátkům výroby. Mohou být měřeny klasickými metodami, ale ty byly dosud tak časově náročné a pracné, že nemohly být zahrnuty do denní pravidelné kontroly všech vzorků.

Hlavním smyslem tohoto postupu je redukce počtu sledovaných znaků a větší přiblížení ke skutečné charakteristice kvality. Pokud je to možné, nechají se v analýze působit také vlivy, působící na výrobní proces. Dobrým příkladem klasického komplexního znaku je analýza laboratorní sladin pro hodnocení kvality sladu.

3.2 Zkvasitelnost sladin a mladiny

Zkvasitelnost sladin a mladiny v sobě zahrnuje chování mladiny při hlavním kvašení a dokvašování piva, a proto se zcela nekryje s jinak běžně užívaným dosažitelným stupněm prokvašení. Existuje velké množství metod pro předpověď dosažitelného prokvašení přímo ze základní suroviny, z nichž některé zohledňují rychlost sedimentace kvasnic během kvašení, čímž se spíše blíží znaku zkvasitelnosti.

V šedesátých letech se pro předpověď této vlastnosti používala kryoskopie, které se v poslední době věnovalo několik českých autorů. Její opětovné použití se však hlavně opíralo o rychlou, al-

ternativní metodu analýzy piva [3]. Výpočetní hodnota kryoskopie o kvalitě sladu je podle některých studií relativně slabá, vychází se však přitom z klasického přístupu posouzení korelace mezi jednotlivými náhradními znaky kvality sladu, které samy o sobě popisují skutečnou kvalitu suroviny nepřesně.

Určitým řešením je využití zdokonalených matematických modelů, zahrnujících vhodnou korekci na zkvasitelný a nezkvasitelný extrakt přímo do členu pro skutečný extrakt, což např. nerozlišuje klasický Ballingův vzorec. Rovněž je nezbytné použít vhodné funkce osmolality nebo koncentrace, aby se lépe vystihl význam této hodnoty.

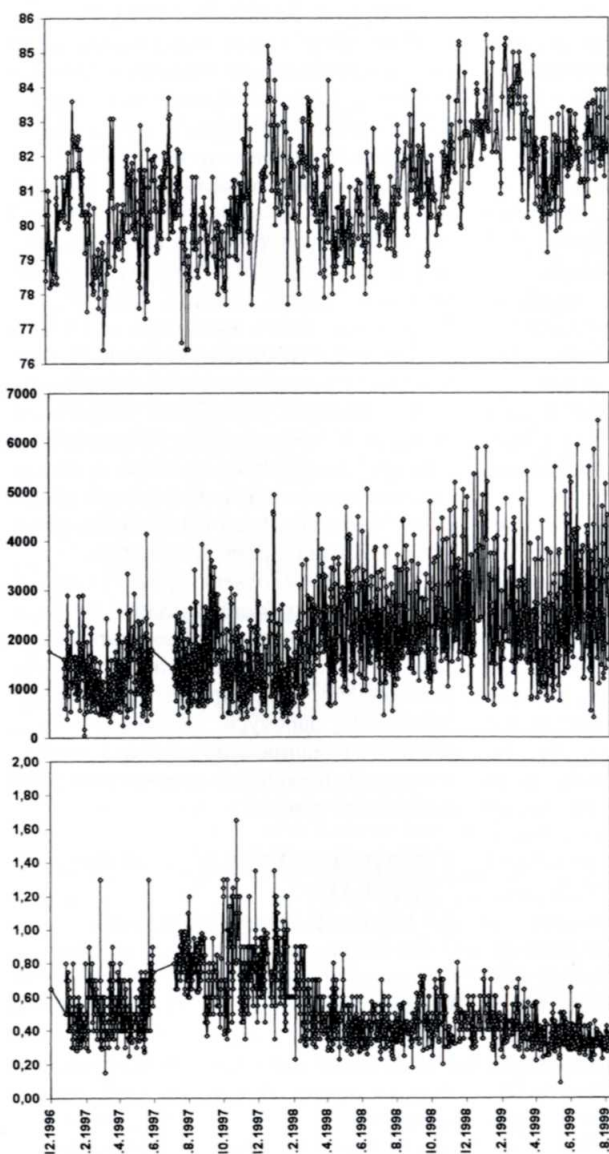
Tato úprava je nutná, neboť nezkvasitelný podíl se liší od zkvasitelného podílu extraktu molekulovou hmotností. Na tento rozdíl reaguje kryoskopická metoda. Na základě zkušeností, získaných při řešení diplomových prací, lze těmito postupy dosáhnout korelace mezi klasickými metodami a touto metodou při hodnocení laboratorních sladin s hodnotou korelačního koeficientu okolo 0,75, což dává předpoklad pro její nové zavedení do praxe [4].

Tim se nabízí možnost rychlého analytického hodnocení komplexního znaku, které je dostatečně rychlé pro předpověď chování suroviny v následných fázích procesu. Kryoskopie udává počet rozpuštěných částic v hmotnostní jednotce rozpouštědla, a proto je vhodná pro kontrolu výrobních operací, ačkoliv nekoreluje přímo s jednotlivými parciálními parametry, používanými pro hodnocení této vlastnosti. Odpovídá smyslu pivovarské výroby, jejíž podstatou je přeměna vysokomolekulárních sloučenin na sloučeniny s relativně nízkou molekulovou hmotností. Další výhodou je velmi malý objem vzorku (asi 0,2 ml).

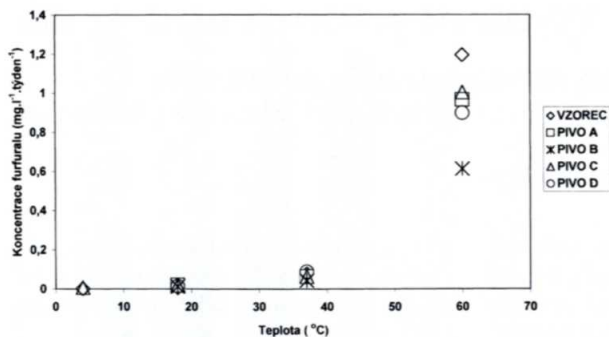
3.3 Stanovení filtrovatelnosti piva

Dosavadní metody stanovení filtrovatelnosti se opírají o stanovení jednotlivých složek, které souvisejí s blokováním filtrační vrstvy, nebo o semiempirické testy, měřící přímo filtrační odpor. Úspěšnost předpovědi výsledné filtrovatelnosti piva nejen ze suroviny, ale také z hotového piva, byla dosud extrémně nízká. Podle našich zkušeností z posledních let mohou nové testy mnohem úspěšněji předpovídat tuto vlastnost, uvázili se skutečnost, že výsledný efekt je dosažen působením komplexního charakteru složek sladu, vlastností a množství křemelin a přítomných kvasnic.

Zvítězit proto mohou pouze metody, měřící odpor vrstvy, složené ze všech těchto částí, což lze uskutečnit způsoby s průběžným nanášením filtrační vrstvy i změřením odporu vrstvy o konstantní tloušťce. V zahraničí se tomuto cíli nejvíce blíží metody, měřící odpor průběžně naplavované vrstvy. Tuto metodu zavedl do praxe Raible, zdokonalili ji Niemsch a další autoři. Jejich přínosem také bylo, že odpor vrstvy přitom vyjadřovali tzv. konstantou filtračního koláče,



Obr. 1 Prokvašení piva (%), specifický výkon křemelinového filtru (hl) a čírosti piva za filtrem (j. EBC)



Obr. 2 Tvorba furfuralu podle vzorce z roku 1978 [9] a současné literatury (piva A–D) [10].

přepočtenou dále na specifický výkon filtru [5,6].

V naší laboratoři jsme získali dobré zkušenosti s oběma druhy těchto testů. Přínosem je možnost přepočítat naměřené filtrační charakteristiky na předpověď chování provozního filtru a dokonce usuzovat na filtrovatelnost piva přímo z vlastností laboratorních sladin.

Je nutné mít zařízení umožňující napodobit nanášení vrstvy, včetně naplavení filtru. Posledním krokem tohoto úkolu je mít zařízení dostatečně malé a rychlé, aby se analýzy mohly provádět rutinně. Teorie měření musí také ve výpočtu spojit běžné charakteristiky odporu křemelin s charakteristikami filtračního výkonu [7].

3.4 Senzorická stabilita piva

Velmi důležitým komplexním znakem je senzorická kvalita piva a její stabilita. Pozornost se nyní soustřeďuje na redukční vlastnosti kvasnic, které musí zajistit odbourávání nežádoucích karbonylových sloučenin, a tím i vyrovnanou kvalitu piva. Tato schopnost se může měřit spektrofotometrickými technikami v UV i viditelné oblasti světla. Podstatou zkoušky je přidání charakteristického aldehydu přímo ke kvasnému substrátu a sledování rychlosti jeho redukce. Aldehydem může být nejen známý diacetyl, ale také aldehydy, pocházející z aminokyselin nebo ze sacharidů a vznikající při stárnutí piva [8].

Metody vedoucí ke studiu senzorické stability piva zahrnují množství technik. V poslední době se prokázala výrazná účast radi-

kálových reakcí na tomto procesu, přičemž jsou současně napadány další přirozené složky piva. Radikálový charakter Maillardovy reakce byl potvrzen již dostatkem prací a je proto zcela logické pátrat po vedlejších produktech těchto reakcí. Konečným produktem rozpadu hexos může být nejen očekávaný hydroxymethylfurfural, ale také furfural, jehož vznik se přičítal především reakcím pentos.

Dále se podařilo prokázat vznik několika meziproduktů, vedoucích k postupné přeměně sacharidických složek piva. Zahraniční autoři se nyní vracejí ke staré myšlence využít tvorby těchto látek a data stočení k posouzení stupně stárnutí piva u spotřebitele i ke studiu senzorické stability, tzv. furfuralového datování.

K tomu je nutná znalost konstant teplotních závislostí tvorby těchto látek. Obr. 2 znázorňuje shodu výsledků naší již letité práce a nejnovějších výsledků poslední studie britských autorů [9,10].

Závislost tvorby furfuralu na teplotě jsme vyjádřili vztahem v práci [9]:

$$(1) \frac{dc}{d\tau} = k \quad k = A \cdot \exp(-E/RT)$$

kde c je koncentrace furfuralu, τ je čas, $A = 1,561 \cdot 10^{18} \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}.\text{den}^{-1}$, $E = 1,018 \cdot 10^5 \text{ J.mol}^{-1}$, $R = 8,31441 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Pro hodnocení přirozeného stárnutí piva za běžných skladovacích podmínek lze použít jednotnou stupnici, neboť rozptyl hodnot mezi různými druhy piv je malý. Naproti tomu lze zkouškami za vyšších teplot rozlišit různé druhy piv a jejich náchylnost k stárnutí.

Protože radikálové reakce vystupují již nejen při rmutování a chmelovaru, ale také při klíčení ječmene a kvašení mladiny, vede odtud přímá cesta ke studiu stability piva a její předpovědi přímo ze surovin.

4 ZÁVĚR

Závěrem je možno shrnout, že kvalita surovin i technologie významně ovlivňuje výsledek výrobního procesu v pivovaru a že je nutno se zamýšlet nad komplexní, skutečnou

charakteristikou kvality vstupních surovin, meziproduktů i použité technologie. Tomuto cíli nejlépe odpovídá volba tzv. komplexních znaků kvality, které jsou multifaktoriální a mají značný dopad na výrobce i spotřebitele. Komplexní znaky v sobě zahrnují vliv surovin i procesu.

Hlavním smyslem tohoto postupu je redukce počtu sledovaných znaků a větší přiblížení ke skutečné charakteristice kvality. Pokud je to možné, nechají se v analýze působit také vlivy, působící na výrobní proces.

Znaky musí být především rychle a snadno měřitelné a schopné snadno rozeznat skutečnou kvalitu suroviny v celém výrobním procesu. Proto je vhodné začlenit je do běžné provozní kontroly. Jejich výsledkem bývá jediné číslo. Je možno je korelovat se spektry v infračervené oblasti, neboť se vztahují na zastoupení uhlikatých a dusíkatých látek suroviny a meziproduktů. Tím se otevírají nové možnosti dokonalejší denní kontroly při výrobě piva.

Literatura

- [1] ŠAVEL, J.: Kvasny Prum. **39**, 1993, s. 232
- [2] KUPKA, K.: Statistické řízení jakosti. 1. vyd. Trilobyte, Pardubice, 1997
- [3] ČEJKA, P. et al.: Kvasny Prum. **43**, 1997, s. 237
- [4] BROŽ, A.: Diplomová práce ÚKCHB, VŠCHT Praha, 1999
- [5] RAIBLE, K., HEINRICH, T., NIEMSCH, K.: Mschr. Brauwiss. **43**, 1990, s. 60
- [6] NIEMSCH, K., HEINRICH, T., ZIEHL, J.: Brauwelt **139**, 1999, č. 18, s. 788
- [7] ŠAVEL, J.: Kvasny Prum. **46**, 2000, s. 39
- [8] ŠAVEL, J.: Kvasny Prum. **45**, 1999, s. 258
- [9] ŠAVEL, J., ZDVIHALOVÁ, D.: Kvasny Prum. **24**, 1978, s. 30
- [10] MADIGAN, A., PEREZ, A., CLEMENTS, M.: J. Am. Soc. Brew. Chem. **56**, 1998, s. 146

*Zpracováno podle přednášky na 18. PS dnech – Průhonice
Do redakce došlo 22. 10. 1999*