

# Ballingovy alkoholové faktory z pohledu současného pivovarství

## *Balling Alcohol Factors from the Perspective of Contemporary Brewing*

Jan ŠAVEL, Petr KOŠIN, Adam BROŽ

Budějovický Budvar, n.p., Karolíny Světlé 4, 370 21 České Budějovice / *Budějovický Budvar, n.p., Karolíny Světlé 4, CZ-370 21 České Budějovice*

e-mail: jan.savel@budvar.cz

Recenzovaný článek / *Reviewed paper*

**Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Ballingovy alkoholové faktory z pohledu současného pivovarství.** *Kvasny Prum.* 61, 2015, č. 4, s. 120–128

Článek se zabývá sestavením velkého Ballingova vzorce a odvozením alkoholových faktorů i atenuačního kvocientu, jejichž rozdílné hodnoty se naleznou v Ballingových knihách z roku 1846 a 1854. Uvádí se modifikovaný Ballingův vzorec, umožňující přímý výpočet původního extraktu ze změřeného zdánlivého extraktu a alkoholu bez nutnosti použít vzorec podle Tabarie. Popisuje se postup odvození atenuačního kvocientu  $q$  pro potřeby současně se rozvíjejících řemeslných pivovarů. Užité hodnota Ballingova vzorce spočívá v popisu vztahů mezi dosud zkvašeným a zbytkovým extraktem s použitím jednoduchého měření. Tento postup se udržel v neměnné podobě přes 150 let a nedá se předpokládat, že v technické praxi se uplatní modifikovaná verze. Navrhuje se uvádět hodnoty skutečného extraktu a alkoholu pro orientační posouzení nutriční hodnoty piva.

**Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Balling alcohol factors from the perspective of contemporary brewing.** *Kvasny Prum.* 61, 2015, No. 4, pp. 120–128

The article deals with the history of formulation of the great Balling formula and derivation of alcohol factors and attenuation quotient of which the different values are found in Balling books from 1846 and 1854. It is reported a modified Balling formula, allowing direct calculation of original extract from the apparent extract and alcohol without the use of formula by Tabarie. The attenuation quotient  $q$  is useful for simultaneously growing craft breweries. The value of Balling formula is to describe the relationship between fermented and residual extract using a single measurement. This procedure has remained in stable form for over 150 years and it can not be assumed that the technical practice applies a modified version. It is proposed to specify both value of the real extract and alcohol for the consumer first assessment of the nutritional value of beverage.

**Šavel, J. – Košin, P. – Brož, A.: Balling Alkoholfaktoren aus Sicht der zeitgenössischen Brauindustrie.** *Kvasny Prum.* 61, 2015, Nr. 4, S. 120–128

Der Artikel befasst sich mit der Zusammenstellung der großen Balling Formel und der Ableitung von Alkoholfaktoren und Attenuationsquotient deren verschiedene Werte in den Balling's Bücher aus den Jahren 1846 und 1854 zu finden sind. Es wird eine modifizierte Balling Formel herbeigeführt, die eine direkte Stammextraktsberechnung aus den gemessenen Werten des scheinbaren Extrakts und Alkohols ohne Notwendigkeit die Tabariesformel anzuwenden. Es wird ein Verfahren der Ableitung des Attenuationsquotients  $q$  für die Bedürfnisse der damaligen entwickelnden Brauereien. Der Nutzungswert der Balling's Formel liegt in der Beschreibung der Beziehung zwischen bisher vergorenem Extrakt und dem Restextrakt unter Anwendung eines einfachen Messung. Dieses Verfahren blieb in einer unveränderten Form über 150 Jahren und es gibt's keine Voraussetzung, dass in der technischen Praxis eine modifizierte Version in Kraft kommt. Es wird vorgeschlagen, für die erste Bewertung des Nutritionsgehalts des Bieres die Werte des tatsächlichen Extrakts und des Alkohols anzuführen.

**Klíčová slova:** *Balling, alkoholový faktor, atenuační kvocient, Ballingův vzorec*

**Keywords:** *Balling, alcohol factor, attenuation quotient, Balling formulas*

## 1 ÚVOD

Pivovarství na celém světě využívá tzv. velkého Ballingova vzorce, udávajícího vztah mezi původním extraktem, alkoholem a skutečným extraktem piva. Od jeho vzniku se však postupně objevovali kritici jeho využitelnosti z analytického, technologického i daňového hlediska, spolu s návrhy na zpřesnění vzorce. Zvláštní pozornost zasluhuje nesprávná aplikace vzorce při výpočtu spotřební daně míchaných nápojů z piva (Košin a Šavel, 2013).

Carl Napoleon Balling (1805–1868) byl vysokoškolský profesor v Praze a významný chemik, který se zabýval metalurgií, cukrovarnictvím a kvasnou chemií (Basařová, 2005). Svůj vzorec sestavil v polovině devatenáctého století a publikoval ho v knihách, které vycházely od roku 1843 do 1865, obvykle ve třech vydáních.

Již v té době Balling používal název skutečný extrakt pro všechny látky rozpuštěné v pivu kromě alkoholu. Extrakt přitom kromě jednoduchých cukrů obsahuje další látky, např. hořké látky, bílkoviny, glycerol, organické kyseliny a minerální složky.

Většinu připomínek k platnosti Ballingova vzorce shrnuje přehledný článek skandinávských autorů, vtipně nazvaný „Ballingův vzorec – pečlivý dozor (skrutinium) na pivovarské dogma“ (Nielsen a Christiansen, 2007).

Hlavní příčiny nepřesnosti vzorce vzhledem k současnosti jsou:

- rozdílný druh zkvašovaného cukru
- odlišné sacharometrické tabulky
- únik alkoholu a vlhkosti během kvašení
- kolísání výtěžku kvasnic a  $\text{CO}_2$  během kvašení aj.

## 1 INTRODUCTION

Brewing world uses so-called great Balling formula which gives the relationship between the original extract, real extract alcohol and beer. Since its inception, however, the formula has been criticized because of its use for analytical, technological, and tax purposes, along with suggestions how to modify the formula. Special attention should be given to the correct application of the formula for the calculation of excise tax of beer mixes (Košin and Šavel, 2013).

Carl Napoleon Balling (1805–1868), professor at the university in Prague, was great chemist, who dealt with metallurgy, sugar industry and fermentation chemistry (Basařová, 2005). His formula was designed in the mid-nineteenth century and published in books which were edited between years 1843 and 1865, usually in three editions.

Already at that time Balling used the name extract for all dissolved substances in beer except for alcohol. The extract comprises among simple sugars further substances e.g. bitter substances, proteins, glycerol, organic acids and mineral components.

Most of the comments on the validity Balling formula was summarized by Scandinavian authors in a review article, humorously called “Balling's formula – scrutiny of a brewing dogma” (Nielsen and Christiansen, 2007).

Main causes of inaccuracies of the formula from the position of contemporary brewer are:

- the difference between the mono- and di-disaccharides used in the balance
- different saccharometric tables

Pivovarské výpočty také využívají klasický vztah mezi hustotami piva, alkoholu a skutečného extraktu, který uveřejnil francouzský chemik E. Tabarie v roce 1830.

Od té doby je vzorec po úpravách používán ve všech odvětvích kvasné chemie a ve své době ho používal i Balling. V současnosti se využívá ve všech automatických analyzátoch, které přímo měří hustotu piva i obsah alkoholu, a z nich skutečný extrakt dopočítávají.

Přesto je životopis E. Tabarie téměř neznámý a nelze ho najít ani ve starších publikacích. Také tento vzorec byl předmětem kritiky, v poslední době kvůli interakcím mezi sacharosu a ethanolu v roztoku (Hackbarth, 2009; 2011). Podrobné porovnání výpočtu podle Ballingova a korigovaného vzorce, získaného metodou nelineární regrese, umožnilo ověřit a zpřesnit Ballingův vzorec přidáním další konstanty (Cutaia a Reid, 2009).

V pivovarské literatuře se dnes již málo zmiňuje původní odvození Ballingova vzorce a ještě méně návrh alkoholových faktorů, které měly zjednodušit základní pivovarské výpočty. Dokonce i ve starší pivovarské literatuře se uvádí tato definice: „...Alkoholové faktory jsou poměrná, bezejmenná čísla, která udávají vztah mezi původní hutnotou mladiny pивní, zdánlivým a skutečným prokvašením piva a mezi množstvím lihu v pivě obsaženým. Balling pokusmo tato čísla pro mladiny 1-30 % stanovil...“ (Hrach, 1927).

Autorem tohoto výkladu byl známý český pivovarník J. F. Hrach, první sládek, který byl jmenován doktorem technických věd v Čechách a bývalém Rakousku Uhersku. Většina pivovarníků se proto domnívá, že Balling stanovil hodnoty alkoholových faktorů pokusně.

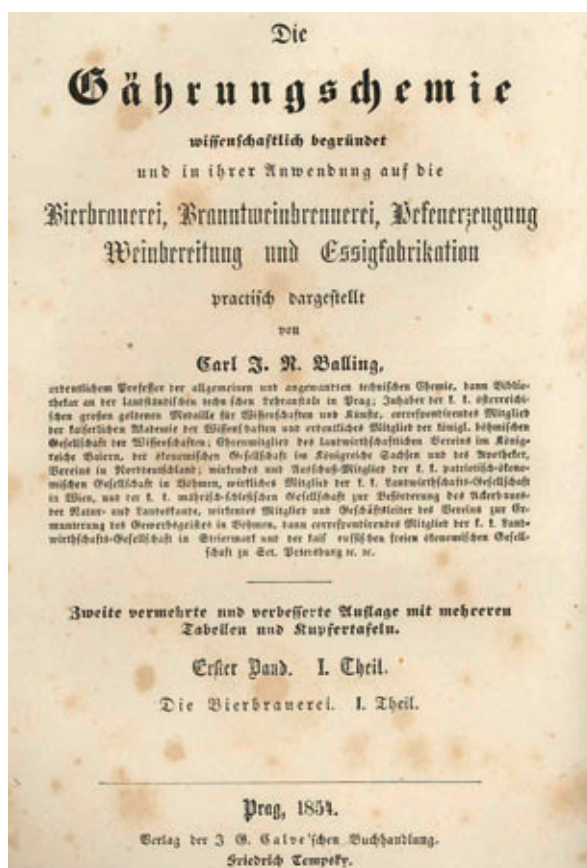
V Ballingových knihách se např. naleznou malé rozdíly v hodnotách jednotlivých údajů, např. v knize z roku 1846 se uvádí hodnota 2,064 g sacharidu pro tvorbu 1 g alkoholu, zatímco v roce 1854 je dodnes používaná hodnota 2,0665 g (obr. 1). Naopak pro množství sušiny kvasnic vztažené na jednotkové množství alkoholu je hodnota 0,11 pro obě vydání (Balling, 1846; 1854).

K pochopení těchto rozdílů a způsobu výpočtu alkoholových faktorů je nutné číst Ballingovy spisy s ohledem na tehdejší stav znalostí o chemickém složení jednotlivých látek, vyskytujících se při kvašení. Knihy jsou psány německým novogotickým písmem, střídavě se v nich používají hmotnostní jednotky pfund nebo gram a relativní atomové hmotnosti se nevztahují k 1/12 dnešní atomové hmotnosti uhlíku, ale k desetině atomové hmotnosti kyslíku. Vodík měl proto relativní atomovou hmotnost 0,625, kyslík 10,00 a uhlíku se přisuzovala relativní atomová hmotnost 7,5.

Číselné poměry mezi množstvím cukru a z něj vytvořeného alkoholu stanovil již A. Lavoisier (1789) a později zpřesnil J. Gay-Lussac (1815), přičemž dnešní hodnoty, odpovídající rovnici vzniku 2 molů oxidu uhličitého a 2 molů ethanolu z jednoho molu cukru, jsou jen nepatrně odlišné (Barnett, 2003).

Tento článek se zabývá vznikem a významem Ballingových alkoholových faktorů podle dnešního stavu znalostí. Článek používá původní Ballingovy symboly  $n$ ,  $m$ ,  $p$  pro skutečný, zdánlivý a původní extrakt, aby se zachovala návaznost na jeho práce.

Obr. 1 Titulní stránka Ballingovy knihy z roku 1854 / Fig. 1 Balling book from 1854



- the loss of moisture and alcohol during fermentation
- fluctuations in the yield of yeast and CO<sub>2</sub> during fermentation and others.

Brewer's calculations also use the classic relationship between the density of beer, alcohol and real extract, which was published by French chemist E. Tabarie at 1830.

After its adjustment the formula was used in all sectors of fermentation industry together with the Balling equation. Present automated analyzers use both formulas for the original extract calculation from the beer density and its alcohol content.

Nevertheless the biography of E. Tabarie is almost unknown and can not be even found in older publications. This formula was also subject to criticism lately due to interactions between sucrose and ethanol in solution (Hackbarth, 2009; 2011). A detailed comparison of calculations by Balling formula and corrected formula obtained by nonlinear regression enabled to cross check and modify Balling formula by adding additional constants (Cutaia and Reid, 2009).

The brewing literature nowadays rarely mentions original construction of Balling formula and even less are mentioned the proposals of alcohol factors that should facilitate basic brewing calculations. The following definition can be found in older brewing literature:

... Alcohol factors are proportional, unitless numbers that give the relationship between the original, apparent or real extract and the amount of alcohol

contained in beer. Balling determined these numbers experimentally in the range of 1-30% of the original gravity ... (Hrach, 1927).

The author of this interpretation was known Czech brewer J.F. Hrach, the first brewer appointed as doctor of technical sciences in the Czech country of the former Austro-Hungarian Empire. Most of the brewers therefore believe that Balling determined the values of the alcohol factor experiments.

There are small differences in the values of individual data in Balling's books, e.g. 1 g of alcohol is formed from 2.064 g carbohydrate in a book from 1846 while book from 1854 gives the value of 2.0665 g which is still being used (Fig. 1). Conversely, the amount of yeast dry matter per 1 g of alcohol is 0.11 g for both editions (Balling, 1846; 1854).

To understand these differences and the method of calculating alcohol factors Balling book should be read with regard to the state of then known chemical composition of substances occurring during fermentation. Books are written in German neo-Gothic letters, alternately using gram or pfund as a mass unit. Atomic weights are not related to 1/12 of today's atomic weight of carbon, but one tenth atomic weight of oxygen. Hydrogen therefore had an atomic weight of 0.625, oxygen 10.00 and carbon was attributed to the relative atomic mass of 7.5.

The numerical ratio between the amount of sugar and alcohol formed from it was determined already by A. Lavoisier (1789) and specified later by J. Gay-Lussac (1815). The current values corresponding to the production of two moles of carbon dioxide and two moles of ethanol of one mole of sugar are only slightly different (Barnett, 2003).

This article deals with the origin and meaning of Balling alcohol factors from the today point of view. The article uses original Balling symbols to keep continuity of his work e.g.  $n$ ,  $m$ ,  $p$  for real, apparent and original extract.

## 2 MATERIÁL A METODY

### 2.1 Databáze analytických rozborů

Všechna data pocházejí z databáze pivovaru B. Budvar, n.p., do níž se průběžně ukládají výsledky analýz piv s použitím Alcolyzeru Plus, Anton Paar (Rakousko).

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Beer database

All data come from Budweiser Budvar N.C. brewery where the results of beer analyses obtained by Alcolyzer Plus, Anton Paar (Austria) have been collected.

**2.2 Stanovení skutečného extraktu piv podle Ballinga (Hrach, 1927)**

Vzorky (100 g) dekarbonizovaného piva se odpařovaly v horkovzdušné sušárně s nuceným oběhem vzduchu po 3 h při 90 °C. Zahuštěné vzorky se doplnily destilovanou vodou na původní hmotnost a stanovil v nich skutečný extrakt přístrojem Alcolyzer Plus. Pro kontrolu odparu se současně stanovil obsah alkoholu (tab. 3). Zbytek (odparek) je relativní hmotnost vzorku po odpaření ethanolu a vody, procenta znamenají, kolik poměrné hmotnosti vzorku bylo odpařeno.

**3 VÝSLEDKY A DISKUSE****3.1 Látková bilance Ballingovy rovnice**

Proti všeobecné představě experimentálního stanovení alkoholových faktorů se jejich hodnoty vypočetly podle Gay-Lussacovy rovnice se zahrnutím korekce na tvorbu dalších produktů.

Balling byl zastáncem chemické teorie kvašení navržené J. Liebigem (1803–1873) na rozdíl od biologické teorie L. Pasteura (1822–1895). Předchozím snahám o vyjádření chemického složení kvasnic ve formě souhrnného vzorce se v jeho knize věnuje téměř tolik místa, jako odvození a výpočtu alkoholových faktorů. V té době považovali někteří chemici kvasinky za rostlinné buňky, složené pouze z celulósy, zatímco jiní již rozeznali přítomnost dusíku a fosforu.

Základem známého Ballingova vzorce byla látková bilance kvašení, která se liší v jednotlivých vydáních jeho knih, např.:

$$(1) \quad 100 \text{ g extraktu} = 48,497 \text{ g alkoholu} + 46,168 \text{ g CO}_2 + 5,335 \text{ g sušiny kvasnic}$$

což ale odpovídá 2,064 g extraktu na 1 g ethanolu (Balling 1846).

Později Balling použil bilanci, zabývající se vztahem mezi průměrnou cukru na ethanol a oxid uhličitý podle:

$$(2) \quad Z = A + K$$

kde  $Z$  (Zucker) je cukr (100),  $A$  je alkohol (51,111  $Z$ ) a  $K$  (Kohlensäure) je  $\text{CO}_2$  (48,889  $Z$ ). Tato bilance nezahrnuje do výpočtu množství vytvořených kvasnic.

Číselné hodnoty bilanci se lišily i v pozdější pivovarské literatuře, podobně jako stupeň prokvašení, který podle Ballinga měl tvar:

$$(3) \quad V' = \frac{(p-n)}{p}$$

kde  $V'$  je skutečný stupeň prokvašení,  $p$  je původní extrakt a  $n$  je skutečný extrakt. Tento vzorec se stále používá v českém i německém pivovarství, ačkoliv v Analytice EBC se používá vzorec:

$$(4) \quad RDF = 100 \frac{2,0665 A}{2,0665 A + n}$$

kde  $A$  je obsah alkoholu.

V americkém pivovarství se tzv. skutečný stupeň prokvašení (RDF) vypočte podle:

$$(5) \quad RDF = \left[ 100 \left( \frac{(p-n)}{p} \right) \right] \left[ \frac{1}{(1-0,05161)n} \right]$$

kde korekční faktor předchozího vztahu byl navržen v roce 1979 (Cutaia a Reid, 2009). Zdánlivý stupeň prokvašení zůstal v původním tvaru podle Ballinga:

$$(6) \quad V = \frac{(p-m)}{p}$$

kde  $m$  je zdánlivý stupeň prokvašení, později se stupně prokvašení vyjadřovaly v procentech.

Současně užívaný Ballingův vzorec vychází z bilance:

$$(7) \quad 100 \text{ g extraktu} = 48,391 \text{ g alkoholu} + 46,286 \text{ g CO}_2 + 5,323 \text{ g sušiny kvasnic}$$

nebo po přepočtu na 1 g alkoholu:

$$(8) \quad 2,0665 \text{ g extraktu} = 1,0000 \text{ g alkoholu} + 0,9565 \text{ g CO}_2 + 0,11 \text{ g sušiny kvasnic}$$

Z této bilance vychází později tzv. velký Ballingův vzorec. Jeho číselník má tvar:

$$(9) \quad p = (p-n) + n = 2,0665 A + n$$

Tato bilanční rovnice udává vztah mezi původním extraktem mladiny a dosud zkvašeným ( $p-n$ ) i nezkašeným extraktem  $n$ .

Při přeměně mladiny na pivo vzniká kromě 1 g alkoholu 0,9565 g  $\text{CO}_2$  a 0,11 g kvasnic, tj. 1,0665 g látek, které se později odstraní. Hmotnost vyrobeného piva poklesne proti hmotnosti mladiny v poměru:

$$(10) \quad r = \frac{100}{100 + 1,0665 A}$$

**2.2 Determination of real extract beers according Balling (Hrach, 1927)**

Decarbonized beer samples (100 g) were evaporated in hot air oven with forced air circulation for 3 h at 90 °C. Concentrated samples were refilled with distilled water to the initial weight and analyzed by Alcolyzer Plus to determine real extract and check up alcohol removal (Tab. 3). The relative weight of the sample after evaporation of the ethanol and water is called the residue.

**3 RESULTS AND DISCUSSION****3.1 Balling mass balance equation**

Against the general perception of experimental determination of the alcohol factors their values were calculated according to Gay-Lussac corrected equation involving the formation of other products such as yeast.

Balling was a proponent of the chemical theory of fermentation which was proposed by J. Liebig (1803-1873) as opposed to biological theories of L. Pasteur (1822-1895). In his book Balling devoted almost as much space to previous attempts to express the chemical composition of yeast in the form of the general formula as the derivation and calculation of alcohol factors. At that time yeast was considered to be plant cells composed only of cellulose, although other chemists recognized the presence of nitrogen and phosphorus.

The known Balling formula was based on mass balance of fermentation, which differs in each edition of his books, for example:

$$(1) \quad \text{extract (100 g)} = \text{alcohol (48.497 g)} + \text{CO}_2 (46.168 \text{ g}) + \text{yeast dry matter (5.335 g)}$$

but this corresponds to 2.064 g extract per 1 g of the ethanol (Balling 1846).

Later Balling used the balance based on the sugar conversion into ethanol and carbon dioxide:

$$(2) \quad Z = A + K$$

where  $Z$  (Zucker) is sugar (100),  $A$  is alcohol (51.111  $Z$ ) and  $K$  (Kohlensäure) is  $\text{CO}_2$  (48.889  $Z$ ). This balance does not include the amount of yeast into the calculation.

Balance values also varied in subsequent brewing literature, just as the degree of fermentation which was defined by Balling:

$$(3) \quad V' = \frac{(p-n)}{p}$$

where  $V'$  was the real degree of fermentation,  $p$  was the original extract and  $n$  was the real extract. This formula is still used in Czech and German brewing, although EBC Analytica states the formula:

$$(4) \quad RDF = 100 \frac{2.0665 A}{2.0665 A + n}$$

where  $A$  is the alcohol content.

In the American brewing the real degree of fermentation (RDF) is calculated by:

$$(5) \quad RDF = \left[ 100 \left( \frac{(p-n)}{p} \right) \right] \left[ \frac{1}{(1-0.05161)n} \right]$$

where the correction factor was designed in 1979 (Cutaia and Reid, 2009). Apparent degree of fermentation remained in its original form as designed by Balling:

$$(6) \quad V = \frac{(p-m)}{p}$$

where  $m$  is the apparent degree of fermentation which was later expressed in percent.

Contemporary Balling formula is based on the balance:

$$(7) \quad \text{extract (100 g)} = \text{alcohol (48.391 g)} + \text{CO}_2 (46.286 \text{ g}) + 5.323 \text{ g yeast dry matter}$$

or per 1 g of alcohol:

$$(8) \quad \text{extract (2.0665 g)} = \text{alcohol (1.0000 g)} + \text{CO}_2 (0.9565 \text{ g}) + \text{yeast dry matter (0.11 g)}$$

The great Balling formula is based on this balance. Its numerator has the form:

$$(9) \quad p = (p-n) + n = 2.0665 A + n$$

This balance equation gives the relationship between the original wort extract, fermented ( $p-n$ ) and still unfermented extract.

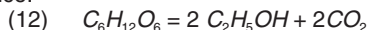
During conversion of the wort to beer 1 g of alcohol is formed together with 0.9565 g of  $\text{CO}_2$  and 0.11 grams of yeast, i.e. 1.0665 grams of substances which are later removed. The weight of the beer wort falls against the original weight in ratio:

takže původní extrakt ve vztahu (9) se musí násobit hodnotou  $1/r$ , čímž se do výpočtu zahrnuje vliv úniku oxidu uhličitého a separace kvasnic sedimentací a filtrací:

$$(11) \quad p \left( \frac{100 + 1,0665 A}{100} \right) = 2,0665 A + n$$

což je velký Ballingův vzorec.

Při odvození tohoto vzorce Balling vycházel z Gay-Lussacovy rovnice:



Podle této bilance vznikají z 1 molu glukosy 2 moly ethanolu. S použitím dnešních hodnot molekulových hmotností se po zaokrouhlení získá vztah:

$$(13) \quad \frac{1}{Y_{EtOH/glu}} = \frac{M_{glu}}{2M_{EtOH}} = \frac{180}{92} = 1,9565$$

kde  $Y_{EtOH}$  je výtěžnostní koeficient ethanolu z glukosy bez započtení kvasničné sušiny. Na 1 g alkoholu je zapotřebí 1,9565 g cukru, z něhož vzniká 0,9565 g oxidu uhličitého, což po započtení množství kvasničné sušiny 0,11 g na 1 g ethanolu poskytuje obvykle citovanou bilanci (8).

Hlavním přínosem Ballingovy práce proto není pokusné stanovení číselných vztahů mezi alkoholem a oxidem uhličitým při kvašení, ale navrzení korekce na látky, které rovněž vznikají z cukru a doplňující stechiometrickou rovnicí přeměny glukosy na alkohol. Přitom skutečné množství produkovaných kvasnic se pouze odhaduje a neuvažují se další vedlejší produkty, které zůstávají v pive, což by vedlo k úpravě bilanční rovnice (7). Ve shodě s tím se hodnoty výtěžnostního koeficientu sušiny kvasnic z extraktu v literatuře dostí liší.

Balling stanovil množství kvasnic, získaných ze 100 g extraktu na 10–15 g s 20% sušinou, čemuž odpovídalo 2–3 g suchých kvasnic na 100 g extraktu, což je asi polovina hodnoty v bilanci (8). Výtěžek kvasnic ovlivňuje druh kvasné nádoby a další faktory, přičemž jiní autoři uvádějí obvykle nižší hodnoty (Balling, 1854; Nielsen, 2007).

Bez měření lze hodnotu výtěžku kvasnic odhadnout z jejich množství, sklizeného při kvašení v otevřených kvasných kádích. Při kvašení 10 a 12% mladiny v českých pivovarech se v polovině minulého století sklídilo 1,3–1,7 kg hustých kvasnic z 1 hl piva, což po přepočtu na obvyklých 15% sušiny odpovídá 2 až 2,5 g sušiny na 100 g extraktu (Hlaváček, 1958). V současné literatuře se uvádí o něco vyšší hodnota 2 až 2,5 l hustých kvasnic/hl, což se blíží hodnotě nakonec použité Ballingem.

Také tyto hodnoty svědčí o tvorbě dalších meziproduktů, které nemusí být odstraněny filtrací a zůstávají proto ve zkvašeném substrátu, což by vedlo k modifikaci velkého Ballingova vzorce.

Modifikací velkého Ballingova vzorce se zabývalo více autorů, přičemž se optimalizovaly jak číselné hodnoty základních koeficientů, tak jeho rozšíření o přídatnou konstantu (Cutaia a Reid, 2009).

Balling experimentálně ověřoval platnost navrženého vztahu pro výpočet původního extraktu mladiny a dospěl k dobré shodě s teoretickými předpoklady. Experimentální technika se opírala o měření mladiny a kvasícího piva sacharometrem nebo pyknometrem a destilační stanovení alkoholu spolu s odpařením piva do sucha nebo na 1/3 jeho původní hmotnosti. Již přesnost těchto metod prakticky vylučuje nalezení hodnot alkoholových faktorů experimentálně, ale umožňuje ověřit platnost vztahu (11).

### 3.2 Výpočet alkoholových faktorů

Vzorec (11) byl pro tehdejší sládky obtížný vzhledem k tomu, že malá výpočetní technika neexistovala a Balling proto vypracoval systém alkoholových faktorů pro usnadnění výpočtů.

Alkoholové faktory udávaly vztahy mezi původním extraktem mladiny a jednotlivými veličinami, používanými k popisu složení piva:

$$(14) \quad A = (p - m) \quad a = (p - n) \quad b = (n - m) \quad c$$

kde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  jsou alkoholové faktory, kde  $b$  je množství alkoholu  $A$ , vytvořeného z jednotky hmotnosti zkvašeného extraktu a  $p$  je koncentrace původní mladiny. Zdánlivý extrakt  $m$  se přitom považoval za virtuální extrakt odpovídající údajům sacharometru, kalibrovaného roztokem sacharózy a ponořeného do částečně zkvašeného piva nezbaveného alkoholu. Koncentrace  $p$ ,  $n$ ,  $m$  se vyjadřovaly v hmotnostních procentech. Tyto vztahy mají podobný tvar jako číselník velkého Ballingova vzorce.

Z praktického důvodu bylo nutné vyjádřit vztah mezi skutečným a zdánlivým extraktem, což vedlo k zavedení tzv. atenuačního koeficientu  $q$ .

$$(15) \quad q = \frac{b}{a} = \frac{p - m}{p - n}$$

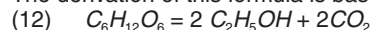
$$(10) \quad r = \frac{100}{100 + 1,0665 A}$$

so the original extract in equation (9) must be multiplied by  $1/r$ , to include the effects of leakage of carbon dioxide and separation of yeast by sedimentation and filtration into the calculation:

$$(11) \quad p \left( \frac{100 + 1,0665 A}{100} \right) = 2,0665 A + n$$

which is the great Balling formula.

The derivation of this formula is based on Gay-Lussac equation:



According to this balance 2 moles of ethanol are formed from 1 mole of glucose. Using present values of the molecular weights the relationship is obtained after rounding:

$$(13) \quad \frac{1}{Y_{EtOH/glu}} = \frac{M_{glu}}{2M_{EtOH}} = \frac{180}{92} = 1,9565$$

where  $Y_{EtOH}$  is the yield coefficient of ethanol from glucose excluding yeast dry matter. To 1 g of alcohol is required 1.9565 g of sugar, which produces 0.9565 g of carbon dioxide, that after inclusion of 0.11 g yeast dry matter per 1 g of ethanol provides usually cited balance (8).

The main contribution of the Balling work is therefore not experimental determination of numerical relationships between alcohol and carbon dioxide during fermentation, but the proposed correction to substances that are also formed from sugar to adjust the stoichiometric equation of conversion of glucose to alcohol. However, the actual amount of yeast is only estimated and other by-products remaining in the beer are not included in the correction of the balance equation (7). In accordance with this, the yield coefficient values of yeast formed from the extract are quite different in the literature.

Balling determined the amount of yeast, obtained from 100 g of the extract to 10 to 15 g with 20% dry matter, which corresponded to 2 to 3 g of dry yeast per 100 g of the extract, which is about half the value of the balance (8). Yeast yield is also influenced by fermentation vessel type and other factors and other authors have reported generally lower values (cit. Balling, 1854, Nielsen, 2007).

Without measurement the yield of yeast can be estimated from their quantity harvested during fermentation in open fermentation tanks. Worts with 10 and 12% original extract fermented in Czech breweries in the middle of the last century provided 1.3 to 1.7 kg of thick yeast from 1 hl of beer. It corresponds after correction on the usual 15% dry matter equivalent to 2 to 2.5 g dry matter per 100 g extract (Hlavacek, 1958). In the current literature we can find a slightly higher value of 2 to 2.5 liters of thick yeast/hl, which is close to the value used by Balling.

These values also point to the formation of other by-products which can not be removed by filtration, and therefore remain in fermented substrate which could lead to modification of large Balling formula.

More authors have dealt with modification of the great Balling formula using optimization of the value of the numerical coefficients and its extension by an additional factor (Cutaia and Reid, 2009).

Balling experimentally validated his formula for calculating the original wort extract and reached a good agreement with the theoretical prediction. The experimental technique is based on measuring the fermenting wort and beer with saccharometer or pycnometer and determination of alcohol by distillation and oven drying to 1/3 of its initial weight. In fact the precision of these methods excludes finding the alcohol factors experimentally, although allows to verify the validity of the relation (11).

### 3.2 Calculation of alcohol factors

For antecedent brewers was the formula (11) too difficult to be used in everyday routine due to the fact that a small computer technology did not exist. Therefore it was necessary to develop a system of Balling alcohol factors to facilitate the calculations.

Alcohol factors gave a relationship between the original extract of wort and other characteristics used to describe the composition of beer:

$$(14) \quad A = (p - m) \quad a = (p - n) \quad b = (n - m) \quad c$$

where  $a$ ,  $b$  and  $c$  are alcohol factors,  $b$  is the amount of alcohol formed from the weight unit of the fermented extract and  $p$  is the original wort extract. The apparent extract  $m$  is considered hypothetical extract responding to the indication of saccharometer, calibrated by sucrose solution and immersed into the fermenting beer containing alcohol. The concentrations of  $p$ ,  $n$ ,  $m$  are expressed in weight percent. These relationships respond to the numerator of the great Balling formula.

kde  $q$  je atenuační kvocient, s jehož pomocí Balling odvodil další významné vztahy:

$$(16) \quad c = \frac{b}{q-1}$$

$$(17) \quad p = \frac{nq-m}{q-1}$$

$$(18) \quad p = \frac{n-m}{q-1} + n$$

$$(19) \quad p = \frac{c}{b} (n-m) + n$$

Číselné hodnoty alkoholových faktorů se podobně jako bilance (1) a (8) lišily i v jednotlivých vydáních Ballingových knih, podobně jako se lišily i základní bilance, vedoucí k velkému Ballingovu vzorci.

Proto jsme k dalším výpočtům použili tabulky, uveřejněné až v pozdějších pivovarských učebnicích. I v nich se např. kvocient  $q$  udával jak v původním tvaru, tak jako zmenšený o jednotku, tj.  $q-1$  (Pawlowski a Doemens, 1932, cit. Cutaia a Reid, 2009). Ze stejného důvodu jsme k dalším výpočtům použili údaje z roku 1927, kdy už se hodnoty faktorů neměnily (tab. 1, Hrach, 1927). Pro porovnání uvádíme vybrané původní hodnoty těchto faktorů podle Ballinga (tab. 2).

Alkoholové faktory odpovídají převráceným hodnotám výtěžnostních koeficientů přeměny cukru na oxid uhličitý, alkohol a vedlejší produkty, např.:

$$(20) \quad b = \frac{dn}{dA} = \frac{1}{Y_{Ball}}$$

kde výtěžnostní koeficient  $Y_{Ball}$  vyjadřuje množství alkoholu, vznikajícího z jednotkového množství extraktu  $n$ .

Tab. 1 Hodnoty alkoholových faktorů (Hrach, 1927) / Table 1 Balling alcohol factors (Hrach, 1927)

p	q	a	b	c
1	1.221	0.3983	0.4864	2.2010
2	1.222	0.4001	0.4889	2.2024
3	1.223	0.4018	0.4915	2.2041
4	1.224	0.4036	0.4941	2.2058
5	1.225	0.4054	0.4967	2.2076
6	1.226	0.4073	0.4993	2.2096
7	1.227	0.4091	0.5020	2.2116
8	1.228	0.4110	0.5047	2.2137
9	1.229	0.4129	0.5074	2.2160
10	1.230	0.4148	0.5102	2.2181
11	1.231	0.4167	0.5130	2.2209
12	1.232	0.4187	0.5158	2.2234
13	1.233	0.4206	0.5189	2.2262
14	1.234	0.4226	0.5215	2.2290
15	1.235	0.4246	0.5245	2.2319
16	1.236	0.4267	0.5274	2.2350
17	1.237	0.4288	0.5304	2.2381
18	1.238	0.4309	0.5334	2.2414
19	1.239	0.4330	0.5365	2.2448
20	1.240	0.4351	0.5396	2.2483
21	1.241	0.4373	0.5427	2.2519
22	1.242	0.4395	0.5458	2.2557
23	1.243	0.4417	0.5490	2.2595
24	1.244	0.4439	0.5522	2.2636
25	1.245	0.4462	0.5555	2.2677
26	1.246	0.4485	0.5589	2.2719
27	1.247	0.4508	0.5622	2.2763
28	1.248	0.4532	0.5656	2.2808
29	1.249	0.4556	0.5690	2.2854
30	1.250	0.4580	0.5725	2.2902

For practical reasons, it was necessary to express the relationship between the real and the apparent extract, which led to the introduction of so called attenuation quotient  $q$ .

$$(15) \quad q = \frac{b}{a} = \frac{p-m}{p-n}$$

where  $q$  is the quotient of attenuation by which Balling derived more significant relationships:

$$(16) \quad c = \frac{b}{q-1}$$

$$(17) \quad p = \frac{nq-m}{q-1}$$

$$(18) \quad p = \frac{n-m}{q-1} + n$$

$$(19) \quad p = \frac{c}{b} (n-m) + n$$

Numerical values of alcohol factors and balances (1) and (8) also differed in various editions of Balling books, which influenced the great Balling formula.

Therefore, we have used for further calculations tables, published in later brewer textbooks. Therein is e.g. the quotient  $q$  set both in its original form and reduced by one unit i.e.  $q-1$  (Pawlowski and Doemens, 1932, loc. Cutaia and Reid, 2009). For the same reason, we have to base further calculations on data from 1927, when the values of alcohol factors were already stable (Table 1, Hrach, 1927). For comparison, we selected the initial values of these factors derived by Balling (Table 2).

Alcohol factors correspond to the reciprocal values of the yield coefficients for the conversion of sugar to carbon dioxide, alcohol and byproducts, e.g.:

$$(20) \quad b = \frac{dn}{dA} = \frac{1}{Y_{Ball}}$$

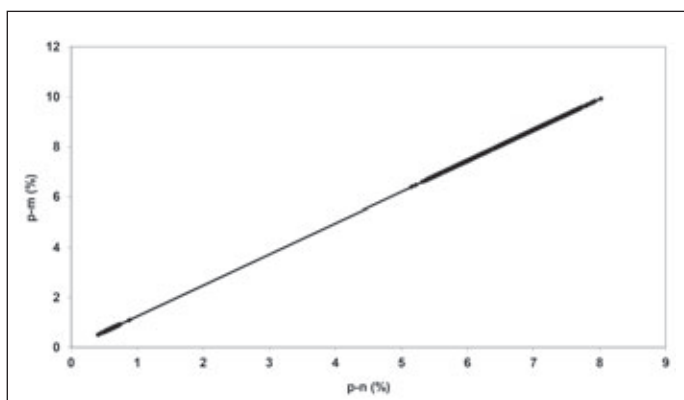
where the yield coefficient  $Y_{Ball}$  expresses the amount of alcohol produced from the unit amount of the extract  $n$ .

We tried to verify the linear relationship between the variables ( $p-m$ ) and ( $p-n$ ), whose ratio is according to equation (10) an estimation of the mean quotient  $q$  (Fig. 2, 3). To verify this relationship we used analyses of 1046 samples of 10 types of bottled beers from 11 breweries taken in the Czech Republic during years 2010–2014 to obtain a  $q = 1.2389$ . The collection included non-alcoholic beers ( $A < 0.5$  vol.%) and lagers with original extract 10, 11 and 12% w/w. The alcohol range comprised 0.20 to 4.13% w/w and original extract from 3.1 to 12.25%.

Tab. 2 Hodnoty alkoholových faktorů podle různých autorů / Table 2 Alcohol factors from different sources

Zdroj / Source	a	b	q
<b>p = 6</b>			
Balling 1846	0.4079	0.5004	1.226
Balling 1854	0.4312	0.5265	1.221
Hrach 1927	0.4073	0.4993	1.226
<b>p = 10</b>			
Balling 1846	0.4156	0.5112	1.230
Balling 1854	0.4386	0.5373	1.225
Hrach 1927	0.4148	0.5102	1.230
<b>p = 12</b>			
Balling 1846	0.4195	0.5169	1.232
Balling 1854	0.4424	0.5429	1.227
Hrach 1927	0.4187	0.5158	1.232
<b>p = 15</b>			
Balling 1846	0.4255	0.5255	1.235
Balling 1854	0.4484	0.5515	1.230
Hrach 1927	0.4246	0.5245	1.235

Obr. 2 Závislost rozdílu původního a zdánlivého extraktu ( $p - m$ ) na rozdílu původního a skutečného extraktu ( $p - n$ ) u piv z českých pivovarů (1046 vzorků, směrnice = 1,2389) / Fig. 2 Dependence of the difference between the original and apparent extract ( $p - m$ ) on the difference between the original and real extract ( $p - n$ ) for beers from Czech breweries (1046 samples, slope = 1.2389)



Experimentálně lze ověřit lineární závislost mezi veličinami ( $p-m$ ) a ( $p-n$ ), jejichž podíl je podle vztahu (10) odhadem střední hodnoty kvocientu  $q$  (obr. 2, 3). Pro ověření tohoto vztahu se použily analýzy 1046 vzorků 10 druhů lahvových piv z 11 českých pivovarů v letech 2010–2014 s rozmezím alkoholu 0,20 až 4,13%, původního extraktu 3,1 až 12,25%, přičemž se získala hodnota  $q = 1,2389$ . Výběr zahrnoval nejčastěji vyráběné druhy, nealkoholické pivo ( $A < 0,5$  obj. %) a pivo s původním extraktem 10, 11 a 12% hm. extraktu.

Pro 968 vzorků kvasících mladín odebraných z CKT ( $A = 0$  až 6,21%,  $p = 10,61$  až 17,48%), jednoho pivovaru během dvou měsíců, což poskytlo  $q = 1,2396$ . Shoda s údaji v tab. 1 je přijatelná vzhledem k rozdílné experimentální technice, rozdílu v látkových bilancích (1) a (7) a s přihlédnutím k současným technologickým postupům.

Domníváme se, že tímto způsobem ověřoval vypočtené vztahy s použitím grafických metod i Balling. Balling vypočetl hodnoty  $q$  pro původní extrakt 1 až 30%, ale kvašení takto koncentrovaných mladín v praxi nepřipadá v úvahu. Podle Ballinga záviselo  $q$  také na hodnotě původního extraktu, ale odhad  $q = 1,239$  lze považovat pro praktické účely za dostatečný.

Pro sledování stupně zdánlivého prokvašení během hlavního kvašení postačuje měřit zdánlivý extrakt při udržování známé hodnoty extraktu původní mladiny, čehož se využívá v běžné praxi. Rovněž se vystačí s  $m > 0$ , protože nulové hodnotě  $m$  odpovídají podle (11) vztahy:

$$(21) \quad \frac{p_{m=0}}{n_{m=0}} = \frac{q}{q-1}$$

$$(22) \quad \frac{p_{m=0} - n_{m=0}}{p_{m=0}} = \frac{1}{q}$$

kde  $p_{m=0}$  a  $n_{m=0}$  jsou původní a skutečný extrakt pro nulovou hodnotu zdánlivého extraktu, tyto hodnoty se ale při hlavním kvašení prakticky nevyskytují.

Bez měření je teoretický výpočet  $q$  pro  $m = 0$  možný také ze vzorce podle Tabarie. Vzorec byl původně odvozen pro relativní hustotu (specific gravity, SG) nápojů, měřenou při 20 a 4 °C označovanou SG 20/4, ale platí i pro v současnosti užívanou relativní hustotu 20 °C/20 °C.

$$(23) \quad SG_{EtOH} = SG_{beer} - SG_n + 1$$

kde  $SG_n$  je relativní hustota skutečného extraktu. Při nulové hodnotě  $m$  platí:

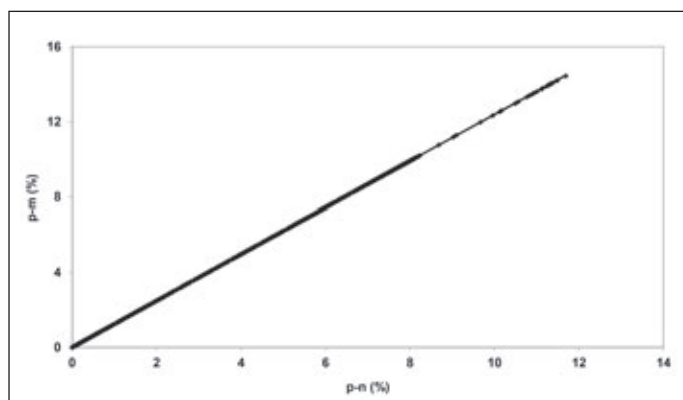
$$(24) \quad SG_{EtOH} + SG_n = 2$$

Z látkové bilance kvašení (8) lze také vypočítat závislost Balingova alkoholového faktoru  $b$  na původním extraktu podle tab. 1:

$$(25) \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{Y_{Ball}} + \left(1 - \frac{1}{Y_{Ball}}\right) \frac{p}{100}$$

$$(26) \quad b = \frac{1}{2,0665 - 0,01065 p}$$

Obr. 3 Závislost rozdílu původního a zdánlivého extraktu ( $p - m$ ) na rozdílu původního a skutečného extraktu u piv z CKT během kvašení mladín z českého pivovaru (968 vzorků, směrnice 1,2396) / Fig. 3 Dependence of the difference between the original and apparent extract ( $p - m$ ) on the difference between the original and real extract beers from CKT during fermentation of wort from one brewery (968 samples, slope 1.2396)



For 968 samples of the fermenting wort taken from CKT ( $A = 0$  to 6.21%,  $p = 10.61$  to 17.48%), in one brewery within two months the quotient  $q = 1.2396$  was obtained. Compliance with the data in Table 1 is acceptable due to the different experimental techniques, differences in the balance (1) and (7) and contemporary technological techniques.

We believe that Balling obtained the alcohol factors using graphical methods. Balling calculated  $q$  values for original extract into the range 1 to 30%, but the fermentation of the most concentrated wort is hardly possible. According to Balling  $q$  depended also on the value of the original extract, but the estimate  $q = 1.239$  can be considered sufficient for practical purposes.

For monitoring the apparent attenuation during main fermentation it is sufficient to measure the apparent extract for the known value of the original wort extract, which is used in common practice. In current lager fermentation is  $m > 0$ , because zero  $m$  value corresponds to formulas:

$$(21) \quad \frac{p_{m=0}}{n_{m=0}} = \frac{q}{q-1}$$

$$(22) \quad \frac{p_{m=0} - n_{m=0}}{p_{m=0}} = \frac{1}{q}$$

where  $p_{m=0}$  and  $n_{m=0}$  are the original and real extract at zero value of the apparent extract but these values are not reached during main fermentation.

Theoretical calculation of  $q$  for  $m = 0$  is also possible using formula by Tabarie. The formula was originally derived for the relative density (specific gravity, SG) of beverages, measured at 20 °C and 4 °C which was called SG 20/04, but it can be also applied to currently used relative density of 20 °C/20 °C.

$$(23) \quad SG_{EtOH} = SG_{beer} - SG_n + 1$$

where  $SG_n$  is the relative density of real extract. If  $m$  is zero then:

$$(24) \quad SG_{EtOH} + SG_n = 2$$

From the mass balance of fermentation (8) can also be calculated the relation between alcohol factor  $b$  and the original extract value according to Table 1:

$$(25) \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{Y_{Ball}} + \left(1 - \frac{1}{Y_{Ball}}\right) \frac{p}{100}$$

$$(26) \quad b = \frac{1}{2,0665 - 0,01065 p}$$

The value of factor  $a$  can be determined from the dependence of the quotient  $q$  on the original extract according to Table 1 and the definition of alcohol quotient  $q$  in equation (15):

$$(27) \quad q = 1,220 + 0,001 p$$

Parallely to equation (25) yield coefficient  $Y_m$  can be designed, corresponding to a yield of 1 g of ethanol from the hypothetical apparent extract unit. According to Table 1 the correlation between reciprocal

Tab. 3 Stanovení skutečného extraktu a alkoholu piv před a po jejich odpaření / Table 3 Real extract determination before and after on beer evaporation

Druh piva / Beer	Původní extract / Original extract (%)	n (%)		A (%)		Odparek / Residuum (%)
		před / before	po / after	před / before	po / after	
Ovocný mix / Beer mix	8.93	6.26	6.25	1.36	0	39.5
Výčepní / Light beer	9.80	3.66	3.65	3.13	0.02	38.2
Ležák / Lager	11.13	3.79	3.81	3.71	0.01	35.3
Strong / Strong	16.19	4.96	4.97	5.94	0.02	32.5

Hodnotu faktoru  $a$  lze stanovit ze závislosti kvocientu  $q$  na původním extraktu podle *tab. 1* a definice alkoholového kvocientu  $q$  ve vztahu (15):

$$(27) \quad q = 1,220 + 0,001 p$$

Analogicky ke vztahu (25) lze předpokládat výtěžnostní koeficient  $Y_m$  odpovídající výtěžku ethanolu z 1 g hypotetického zdánlivého extraktu. Podle *tab. 1* lze např. testovat závislost převrácené hodnoty faktoru  $a$  na hodnotě původního extraktu  $p$  vyrovnáním lineární závislosti:

$$(28) \quad \frac{1}{a} = Y_m - k p$$

poskytující odhad hodnoty  $Y_m = 2,523$  a hodnotu  $k = 0,011$ , která je blízká očekávané hodnotě  $0,010665$ .

S použitím koeficientu  $Y_m$  lze předpokládat analogicky ke vzorci (11) vztah:

$$(29) \quad p = \frac{100 (Y_m A + m)}{100 + 1,0665 A}$$

kde  $Y_m$  je výtěžnostní koeficient alkoholu ze zdánlivého extraktu  $m$  a korekční faktor ve jmenovateli vyjadřuje ztrátu hmotnosti mladiny stejně jako ve vztahu (10).

Podobně lze odvodit vzorec pro výpočet kvocientu  $q$ :

$$(30) \quad q = \frac{Y_m - 0,010665 p}{Y_{Ball} - 0,010665 p}$$

Kvocient  $q$  zaujímá čelné místo v Ballingově snaze stanovit vztah mezi zdánlivým a skutečným prokvašením a jeho závislost na původním extraktu  $p$  může mít různý tvar, jak plyne ze vzorců (27) a (30), přičemž s nižší přesností lze použít i jeho střední hodnoty.

Přesněji lze hodnotu  $Y_m$  např. stanovit testováním závislosti:

$$(31) \quad p (1 + 0,010665) A - m = Y_m A$$

poskytující hodnotu  $Y_m = 2,5324$  pro vzorky českých piv. *Obr. 4* znázorňuje vztah mezi původním extraktem podle analyzátoru Alcolyzer Plus a extraktem vypočteným ze vzorce (29) s hodnotou  $Y_m = 2,5324$ . Přesná hodnota  $Y_m$  stanovená tímto způsobem závisí na zastoupení jednotlivých druhů piv ve výběrovém souboru, ale pro běžná česká piva poskytuje dostatečně přesné výsledky.

S použitím vzorce (29) je možné nalézt vztah mezi hodnotami zdánlivého extraktu, alkoholu a původního extraktu bez nutnosti použít vzorec podle Tabarie. Výpočet vychází ze dvou přímo měřených hodnot, tj. relativní hustoty piva a obsahu alkoholu, zatímco Alcolyzer Plus používá nepřímý výpočet podle Tabarie. Protože současné studie užívají dat z analyzátoru Alcolyzer Plus, jsou ovlivněny i soubory dat z databází analýz (Cutaia a Reid, 2009).

Pro vyloučení vlivu tohoto výpočtu se vzorky piv s rozdílným původním extraktem odpařily a po doplnění deionizovanou vodou doplnily na původní hmotnost. Výsledky rozborů jsou průměry dvou opakovaných stanovení (*tab. 3*). Hodnoty skutečného extraktu, vypočteného analyzátozem z relativní hustoty piva, se prakticky shodovaly s hodnotami získanými odpařením piva.

## 4 ZÁVĚR

Ballingův vzorec a alkoholové faktory představují ukázkou dokonalé vědecké a výzkumné práce, zaměřené na praktické použití získaných poznatků v průmyslové praxi. V pivovarství se sacharometr používal již v 18. století, ucelenou teorii a výpočet alkoholových faktorů poskytl však teprve Balling.

Balling také ztotožnil koncentraci jednoduchého cukru s extraktem, který potom zobecnil v podobě zdánlivého extraktu. Originální přístup k využití zdánlivého extraktu, jako hypotetického znaku k popisu složení kvasící mladiny i hotového piva včetně stupně zdánlivého prokvašení umožňovaly již ve své době podrobně řídit kvasné výroby.

alcohol factor  $a$  and the value of the original extract  $p$  can be tested using linear relationship:

$$(28) \quad \frac{1}{a} = Y_m - k p$$

providing an estimate value  $Y_m = 2.523$  and the value of  $k = 0.011$ , which is close to the expected value of  $0.010665$ .

The equation (11) can be modified using yield coefficient  $Y_m$ :

$$(29) \quad p = \frac{100 (Y_m A + m)}{100 + 1.0665 A}$$

where  $Y_m$  is yield coefficient of alcohol to apparent extract  $m$  while the denominator of formula expresses the weight loss of wort as in equation (10).

Similarly a formula for calculation of quotient  $q$  is:

$$(30) \quad q = \frac{Y_m - 0.010665 p}{Y_{Ball} - 0.010665 p}$$

The quotient  $q$  plays a main role in Balling attempt to establish a relationship between the apparent and real attenuation. The relation between  $q$  and the original extract  $p$  can have a different form which is obvious from the formulas (27) and (30), although the mean value of  $q$  may be used with lower accuracy.

More precisely, the value  $Y_m$  can be determined using equation:

$$(31) \quad p (1 + 0.010665) A - m = Y_m A$$

which provided value  $Y_m = 2.5324$  for samples of Czech beers. *Fig. 4* shows the relationship between the original extract measured by Alcolyzer Plus analyzer and extract calculated by formula (29) using this value. The exact value  $Y_m$  determined in this way depends on the representation of the different types of beer in the data collection, but it provides sufficiently accurate results for current Czech beer.

Using formula (29) can be found the relationship between the values of apparent extract, alcohol and the original without using the Tabarie formula. The calculation is based on two directly measured values which are the relative density of beer and alcohol content, while Alcolyzer Plus works with indirect calculation by Tabarie. Because our study uses the data obtained with the help of Alcolyzer Plus the calculated data are also derived using Tabarie formula (Cutaia and Reid, 2009).

To avoid the influence of this calculation, beer samples having different original extract were evaporated (3 h at 90 °C), which was followed by deionized water addition to the original weight. Results are the means of two replicate determinations (*Table 3*). Real extract values of beer calculated from the specific gravity determined by Alcolyzer Plus density meter practically coincide with the values obtained by evaporation of beer.

## 4 CONCLUSIONS

Balling formulas and alcohol factors represent a perfect example of research work focused on the practical application of acquired knowledge in industrial practice. Although brewing saccharometers were used already in the 18th century, the compact theory and calculation alcohol factors were formulated at first by Balling.

Balling also identified a simple sugar concentration as extract unit, which then generalized in the case of apparent extract. The original approach to the use of apparent extract, as a hypothetical characteristic to describe the composition of the fermenting wort and finished beer together with the degree of apparent attenuation permitted already in the Balling time of control of the fermentation process.

The results of this procedure were verified by classical analytical method combining gravimetric analysis with a distillation method. Results of these analyzes confirmed the possibility of establishing an apparent extract and its connection with the other characteristic using Tabarie formula.

Výsledky tohoto postupu se ověřovaly klasickou analytickou metodou, kombinující gravimetrickou analýzu s destilační metodou. Výsledky těchto analýz potvrdily význam zavedení zdánlivého extraktu a jeho propojení s ostatními znaky aplikací vzorce podle Tabarie.

Ballingův vzorec byl sestaven pro zpětný výpočet původního extraktu mladiny z analýzy hotového piva. Odchytky při aplikaci vzorce na průběh hlavního kvašení vyplývají z proměnlivé hodnoty výtěžnostního koeficientu kvasnic v různých jeho fázích.

S použitím moderní analytické techniky lze sice zjistit podrobné složení mladiny i výsledného piva, tyto postupy se však pro časovou i cenovou náročnost nemohou v praxi využívat. Naopak při současném rozvoji řemeslného pivovarství umožňují Ballingovy atenuační faktory snadnou kontrolu i s použitím samotného sacharometru. Dosud nedocenený je Ballingův atenuační kvocient  $q$ , spojující skutečný a zdánlivý extrakt kvašeného nápoje.

Naproti tomu Ballingova teorie sice umožňuje vypočítat stupeň přeměny zkvasitelného substrátu na alkohol, ale při použití částečně zkvasitelného substrátu je nutné ho doplnit dosažitelným stupněm prokvašení, což ostatně výpočtové vzorce umožňují.

V současnosti se spotřebitel kvašených nápojů kromě obsahu alkoholu stále více zaměřuje na obsah sacharidů. Nutriční hodnota a energetická náročnost nápoje se sice mohou stanovit složitými analytickými postupy, ale údaje obsahu zbytkového extraktu a alkoholu umožňují spotřebiteli získat základní představu o vhodnosti nápoje pro zdravou výživu. Pouze v přítomnosti většího množství neprokvašeného extraktu je nutné stanovit dosažitelné prokvašení, popř. nezkrasitelný substrát předtím enzymově rozštěpit.

Ballingův vzorec umožňuje vypočítat množství extraktu, ze kterého vzniklo nalezené množství ethanolu, k němuž se připočítává další, dosud nezkrasitelný extrakt. Tento zbytek mohl sice pocházet z původní mladiny, při jeho dodatečném přidavku se však původní smysl výpočtu zkrsluje. Stejný účinek má i ředění piva vodou, protože přidavek vody snižuje skutečný extrakt a alkohol ve stejném poměru. Při těchto operacích by se výpočet musel doplnit směšovací rovnici skutečného extraktu a alkoholu.

K posouzení nutriční hodnoty nápoje spotřebiteli postačí údaj o obsahu alkoholu a skutečného extraktu nezávisle na jejich původu. Ztotožnění skutečného extraktu s obsahem sacharidů je sice nepřesné, ale pro základní informaci postačující.

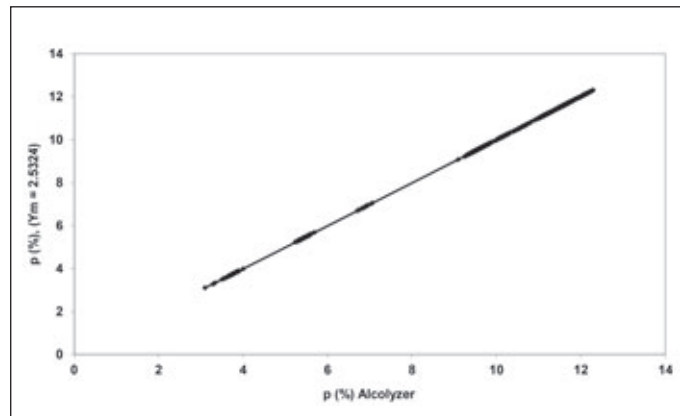
Tento postup by řešil i problémy s technologií HGB, neboť výpočetný původní extrakt nesplňuje přesnou složkovou bilanci skutečného extraktu i alkoholu. Při výrobě míchaných nápojů je princip výpočtu dané z původního extraktu zcela nesprávný a nelogický.

Důvody pro kritiku Ballingova vzorce se zakládají především na nepochopení skutečnosti, že výtěžnostní koeficient ethanolu z extraktu není během kvašení konstantní, neboť se týká hotového piva. Další nepřesnosti se týkají aplikace jediného vzorce, nezahrnující místní vlivy kvašení, jako jsou velikost nádoby, vliv složení mladiny a obsah cukru v ní. Přesto je vzorec pro svoji univerzálnost mistrným nástrojem pro hodnocení tvorby alkoholu za nejrůznějších podmínek a domníváme se, že revize by narušila jeho univerzálnost a ani v budoucnosti k ní vzhledem k 150leté praxi nedojde.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkujeme panu Ing. Janu Krouskému, obchodnímu řediteli firmy Selgen a.s., bez jehož archivu staré pivovarské literatury by tento článek nevznikl.

Obr. 4 Porovnání hodnot původního extraktu stanoveného analyzáto-rem Alcozyler Plus a vypočteného podle modifikovaného Ballingova vzorce (29) z hodnot alkoholu a zdánlivého extraktu u českých piv / Fig. 4 Comparison of values of the original extract determined by Alcozyler Plus analyzer and calculated according to the modified Balling formula (29) using apparent extract and alcohol value of Czech beers



Balling formula was designated to re-calculate the original wort extract from the analysis of the finished beer. Result deviation in the application of the formula on the whole course of the main fermentation arises from the variable yeast yield coefficient values during different phases of fermentation.

Modern analytical techniques enable to determine the detailed composition of the wort and finished beer but these procedures are expensive and time consuming which is the reason why it can not be used in industrial brewery. Conversely, the development of craft brewing requires easy calculation using Balling alcohol factors to control fermentation by saccharometer. Still unappreciated is Balling atenuation quotient  $q$ , connecting the real and apparent extract of fermented beverage.

In contrast, Balling theory, allows to calculate the degree of conversion of fermentable substrate to alcohol, but in the case of partially fermentable substrate the analyse must be supplemented by the determination of the final degree of attenuation.

Currently, consumer of fermented beverages is increasingly focused on sugar content, nutritional value and energy of beverage can be determined using modern analytical techniques, but the content of real extract and alcohol allow consumers to get a basic idea about the suitability of drinks for a healthy diet. Only in the presence of large amount of not fermentable extract it is necessary to cleave this substrate enzymatically before the degree of attenuation determination.

Balling formula allows calculate the amount of the extract from which the ethanol was formed to be added to the real extract. If any further extract is introduced to the finished beer the original meaning of the Balling formula is lost. The same effect has also beer dilution with water, because the addition of water reduces the actual real extract and alcohol at the same ratio. In these operations the mass balance of both componets must be used too.

Alcohol content and real extract values are sufficient for consumer to assess the nutritional value of the drink. Mutual substitution of real extract for saccharide content is inaccurate, but sufficient for basic information.

This calculation procedure could also solve problems associated with HGB technology because the calculated original extract does not meet the exact balance of real extract and alcohol. The application Balling formula in the manufacture of mixed drinks to get original extract value for tax calculation is totally incorrect and illogical.

Reasons for Balling formula criticism is based primarily on a misunderstanding of the fact that yield coefficient of ethanol is not constant during fermentation, because it was derived for finished beer. Further inaccuracies regarding application of a single formula came from local condition of fermentation, such as vessel size, the effect of wort composition and a sugar content in it. Nevertheless, the formula is for its versatility masterful tool for evaluating the formation of alcohol under various conditions. We believe that its correction could disrupt its versatility and due to the 150-year practice will not realize in the future.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to express our gratitude to Ing. Jan Krouský, the sales director of the company Selgen a.s., because this article could not have been written without his archive of the old brewing literature.



## LITERATURA / REFERENCES

Balling, C. J. N.: Die sacharometrische Bier- und Branntweinmischprobe. 2. vyd., Prag, 1846.

Balling, C. J. N.: Die Gärungschemie wissenschaftlich begründet und in ihrer Anwendung auf die Bierbrauerei, Branntweinbrennerei, Hefeferzeugung, Weinbereitung und Essigfabrikation praktisch dargestellt. Bierbrauerei wissenschaftlich begründet und praktisch dargestellt. 2. vyd. Verlag von Friedrich Tempský, Prag, 1854.

Barnett, J. A., 2003: Beginning of microbiology and biochemistry: the contribution of yeast research. Microbiol. 149(3): 557-567. DOI:10.1099/mic.0.26089-0.

Basařová, G., 2005: Profesor pražské techniky Carl Joseph Napoleon Balling. Kvasny Prum. 51(4): 130-135.

Cutaia, A.J., Munroe, J.H., 1979: A method for the consistent estimation of real degree of fermentation. J. Am. Soc. Brew. Chem. 37(4): 188-189.

Cutaia, A.J., Reid, A., Speers, R. A., 2009: Examination of the relationships between original, real and apparent extracts, and alcohol in pilot plant and commercially produced beers. J. Inst. Brew. 115(4): 318-327.

Hackbarth, J.J., 2009: The effect of ethanol-sucrose interactions on specific gravity. A new algorithm for estimating specific

gravity. J. Am. Soc. Brew. Chem., 67(3): 146-151. DOI:10.1094/ASBCJ-2009-0504-01.

Hackbarth, J. J., 2011: The effect of ethanol-sucrose interactions on specific gravity. Part 2: J. Am. Soc. Brew. Chem. 69(1): 39-43. DOI:10.1094/ASBCJ-2010-1207-01.

Hlaváček, F. (ed.), 1958: Pivovarské kvasnice. 1. vyd., SNTL Praha, 184 s.

Hrach, J.F., 1927: Alkoholové faktory. In Teysler-Kotyška: Technický slovník naučný, ilustrovaná encyklopedie věd technických (15 dílů), díl 1, s. 343. Vyd. Borský a Šulc. Praha XI.

Košin, P., Šavel, J., Brož, A., 2013: Výpočet extraktů míchaného nápoje z piva. Kvasny Prum. 59(9): 258-261.

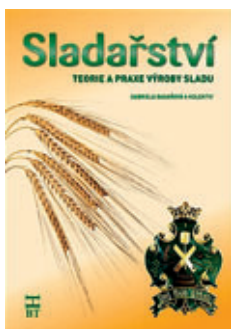
Nielsen, H., Kristiansen, A. G., Lasen, K. M., Erikstrøm, C., 2007: Balling's formula – scrutiny of a brewing dogma. Brauwelt Int. II: 90-93.

Pawlowski, F., Doemens, A., 1932: Die Brautechnischen Untersuchungsmethoden. Verlag von R. Oldenburg, München.

Do redakce došlo / Manuscript received: 8. 12. 2014

Přijato k publikování / Accepted for publication: 12. 2. 2015

## Knihy



## Sladařství (teorie a praxe výroby sladu)

Prof. Ing. Gabriela Basařová, DrSc. (vedoucí autorského kolektivu)

Ing. Vratislav Psota, CSc., doc. Ing. Jan Šavel, CSc., Ing. Petr Basař, MBA, Ing. Richard Paulů, RNDr. Karel Kosař, CSc., prof. Ing. Pavel Dostálek, CSc., Dr. Ing. Pavlína Basařová, Ing. Vladimír Kellner, CSc., RNDr. Renata Mikulíková, Ph.D., Ing. Pavel Čejka, CSc.

Havlíček Brain Team, Praha

ISBN 978-80-87109-47-2

626 stran

Dlouhou dobu očekávaná kniha Sladařství (teorie a praxe výroby sladu) byla dne 19. února 2015 slavnostně uvedena do života v objektu Klášterního pivovaru

Strahov. Tato učebnice, na níž se pod vedením prof. Ing. Gabriely Basařové, DrSc., podílelo deset předních odborníků, má, stejně jako učebnice pivovarství, která vyšla před několika lety, ambice stát se vydavatelským počinem roku v našem oboru.

Slavnostní vítání moderoval vydavatel Karel Havlíček, kmotry knihy byli rektor VŠCHT Praha Karel Melzoch, ředitel Budějovického Budvaru, n.p., Jiří Boček, generální ředitel Stádoven Soufflet ČR Richard Paulů, předseda Českého svazu pivovarů a sladoven František Šámal, bývalý ředitel sladovny Nymburk Milan Holý, ředitel pivovaru Radegast Ivo Kaňák a místopředseda Senátu Parlamentu ČR Zdeněk Škromach.

Již více než 15 let nebyla na našem trhu žádná publikace, která by shrnovala současné poznatky o sladařské problematice a takto obsáhlá kniha je vůbec první svého druhu u nás.

Výpravná kniha je členěna do 22 kapitol, v nichž jsou diskutovány nejen biochemické, chemické, technologické a technické otázky spojené s výrobou sladu, ale zabývá se celou řadou navazujících problematik: neobvyklými surovinami (žito, pohanka, proso atd.), logistikou, ekonomikou, obchodem, škudci, analýzou ječmene a sladu, nechybí ani krátký historický úvod. Kniha obsahuje sto tabulek a velké množství barevných obrázků a schémat. Samozřejmostí je rejstřík a početné reference na konci každé kapitoly. Již první ohlasy z řad uživatelů potvrzují, že očekávání spojená s touto knihou se naplní a bude sloužit všem odborníkům i zájemcům o problematiku výroby základní pivovarské suroviny dlouhou řadu let.

Knihu lze objednat na dobírku na adrese sekretariat@brainteam.cz.



Prof. Ing. Gabriela Basařová, DrSc.



Na úspěch knihy si s autory připily i významné osobnosti našeho pivovarství a sladařství