

VPLIV KOMERCIALNIH KVASOVK NOTTINGHAM IN BELLE SAISON NA UČINKOVITOST FERMENTACIJE IN NEKATERE LASTNOSTI PIVA

Gašper KORAT¹ in Petra TERPINC²

Izvirni znanstveni članek / original scientific article

Prispelo / received: 20. 10. 2021

Sprejeto / accepted: 7. 12. 2021

Izveleček

Ob uporabi dveh vrst komercialnih kvasovk smo spreminjali količino ekstrakta v osnovni sladici, količino inokuluma ter izbirali med dvema temperaturama, pri katerih je potekala fermentacija. Ugotovili smo, da na kinetiko fermentacije vplivajo vsi parametri, najbolj opazen pa je vpliv temperature. Rezultati so pokazali, da na prevrelost in stopnjo alkohola v pivu najbolj vpliva temperatura v kombinaciji z uporabljenim sevom kvasovk. Zabeležili smo le manjši vpliv testiranih dejavnikov na FAN in grenčico v pivu.

Ključne besede: kvasovke, fermentacija, ekstrakt, alkohol, IBU, FAN

THE IMPACT OF COMMERCIAL YEASTS NOTTINGHAM AND BELLE SAISON ON THE EFFICIENCY OF FERMENTATION AND CERTAIN BEER PROPERTIES

Abstract

We used two commercial yeast species, changed the original extract and the amount of inoculum, and choose between two fermentation temperatures. We found that fermentation kinetics were affected by all parameters, with the effect of temperature being the most pronounced. The results showed that temperature, in combination with the yeast strain used, had the greatest effect on attenuation and alcohol content of the beer. We found little effect of the tested factors on FAN and the bitterness of the beer.

Key words: yeasts, fermentation, extract, alcohol, IBU, FAN

¹ Dipl.inž. živ. in preh., Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: gk1585@student.uni-lj.si

² Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: petra.terpinc@bf.uni-lj.si

1 UVOD

S pojmom fermentacija opisujemo tisti korak v proizvodnji piva, v katerem iz pive pridobimo mlado pivo. V mikrobiološkem smislu se fermentacija nanaša na samo rast kvasovk; njihova populacija se poveča od štiri- do šestkrat (Boulton, 2013). Eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na potek ter rezultat fermentacije, je količina ekstrakta v osnovni sladici, tj. merilo vseh topnih komponent v sladici pred alkoholno fermentacijo. Ekstrakt v pivu pred destilacijo imenujemo navidezni ekstrakt, saj prisotni alkohol znižuje gostoto in s tem vpliva na izmerjeno vrednost. Z destilacijo piva pridobimo destilacijski ostanek, ki mu lahko določimo pravi ekstrakt ter destilat, v katerem lahko izmerimo delež alkohola v pivu (Oliver, 2012). Vsebnost ekstrakta je dober pokazatelj problemov s konverzijo sladkorjev, pove nam, kdaj se fermentacija umirja oziroma je zaključena, največji pomen pa ima pred samo fermentacijo, ker nakazuje končno stopnjo alkohola v pivu (Sparhawk, 2012).

Pri fermentaciji se ne porabljajo le sladkorji iz sladice, na samo rast kvasovk in tvorbo aromatičnih spojin pomembno vpliva tudi vsebnost prostega dušika (FAN); ta je odvisna od izhodne surovine, priprave slada, procesa drozganja (Hill in Stewart, 2019) in pogojev fermentacije (Boulton, 2013). S pojmom FAN v pivovarstvu opisujemo vse dušikove spojine v sladici, ki jih lahko kvasovke asimilirajo ali metabolizirajo: alfa aminokislina, amonijak in majhne peptide (Hill in Stewart, 2019). Kvasovke potrebujejo vir dušika za tvorbo aminokislin in nukleotidov, iz katerih se kasneje tvorijo proteini, nukleinske kisline in koencimi. Večja kot je koncentracija FAN v sladici, več bo nastalo hlapnih komponent (višjih alkoholov in estrov), kar lahko vodi v slabše senzorične lastnosti. Nasprotno, prenizek FAN pomeni nezadosten potek fermentacije (Kallmayer, 2014). Aminokislina so nadalje prekurzorji za nastanek višjih alkoholov in aldehydov – dveh razredov spojin, ki sta zelo pomembna pri razvoju neželenih senzoričnih lastnosti piva. Zato lahko že majhne spremembe v njihovi koncentraciji povzročijo precejšnja odstopanja pri okusu in aromi končnega produkta (Ferreira in Guido, 2018).

Kvasovke so glavni proizvodni organizem pri proizvodnji kvalitetnega piva. Fermentirajo sladkorje, pri čemer nastajata alkohol in ogljikov dioksid ter številni sekundarni metaboliti, ki pomembno prispevajo h končnemu senzoričnemu profilu piva. Slednjega definira tudi izbira seva kvasovk. Pivske kvasovke vrste *Saccharomyces* delimo na *ale* kvasovke ali kvasovke zgornjega vrenja ter *lager* kvasovke ali kvasovke spodnjega vrenja (Bukolich in Bamforth, 2013). Količina kvasovk ob inokulaciji vpliva na hitrost fermentacije in zavisi od seva kvasovk, pogojev fermentacije in željenih lastnosti končnega produkta (Briggas in sod., 2004).

Kontrola temperature med fermentacijo je najlažji in najbolj efektiven način kontroliranja hitrosti fermentacije (Kuharczyk in Tuszynski, 2018). Fermentacija pri nižjih temperaturah daje lager piva z boljšim okusom in aromo, medtem ko višje temperature vodijo v povečano aktivnost kvasovk, izgubo stabilnosti pene in barve piva, znižanje pH vrednosti ter v hitrejšo izgubo grenkih komponent (Kuharczyk in Tuszynski, 2018). Pozitivna stran visokih temperatur fermentacije je krajši čas, ki je potreben za znižanje potencialnih priokusov, povzročenih s strani vicinalnih diketonov (Briggas in sod., 2004). Ale piva imajo kljub višjim temperaturam fermentacije prisotne kompleksnejše arome kot lager piva, višje temperature pomenijo hitrejšo fermentacijo in tvorbo večjih količin estrov in hlapnih alkoholov (Sitka, 2019). Zelo nizka temperatura ob inokulaciji kvasovk lahko vodi v počasnejšo kinetiko.

Glavni vir grenčice v hmelju so alfa-kislina, ki se med kuhanjem sladice izomerizirajo v izo-alfa-kislina. Grenčica velikokrat predstavlja občutek trpkosti in suhosti; razmerje med grenčico in sladkostjo v pivu je pri kakovostnem pivu uravnoteženo. Grenčica v pivu se meri v enotah IBU (*international bitterness units*). Glavne alfa-kislina v hmelju so humolon, adhumolon in kohumolon. Ti homologi imajo med kuhanjem sladice drugačne izkoristke. Prav tako imajo različne izo-alfa-kislina različne vplive na grenčico in lastnosti pene v pivu (Oliver, 2012).

2 MATERIALI IN METODE DELA

2.1 Kvasovke

Za inokulacijo sladice smo uporabili dva seva komercialnih ale kvasovk: Lallemand Nottingham in Lallemand Belle saison (Technical Data Sheet, 2020).

2.2 Priprava sladice

Za pripravo sladice smo uporabili ječmenov slad (svetli (85 %) in karamelni (15 %)) ter vodo v razmerju 1:4, m/v. Režim drozganja je bil sledeč: 30 min / 45 °C, 30 min / 52 °C, 30 min / 63 °C, 60 min 72 °C, 10 min 78 °C. Fazi precejanja je sledilo 1 h kuhanje sladice, ko smo vreli sladici dodali hmeljne brikete sort Aurora (0,07 %) in Savinjski golding (0,07 %). Pivina je po zaključeni sedimentaciji vsebovala 18 % ekstrakta (FAN: 217,2 mg/L; IBU: 33,1). Za potrebe eksperimenta smo jo del razredčili z vodo na 11 % (FAN: 131,0 mg/L; IBU: 24,7).

2.3 Rehidracija kvasovk in inokulacija sladice s kvasovkami

Kvasovke smo rehidrirali v 10-kratni količini prevrete in na 32 °C ohlajene vode, po 15 min smo v vodi suspendirane kvasovke premešali in jim 5 min kasneje dodali enako količino sladice, da smo preprečili osmotski in temperaturni šok. Po 15 min so bile kvasovke pripravljene za dodajanje v fermentacijsko posodo. V fermentacijsko steklenico smo odmerili 500 mL na sobno temperaturo ohlajene pивine z 18 oz. 11 ut. % ekstrakta. Po dodatku ustrezne količine kvasovk, smo steklenice zaprli z vrelnimi vehami in prestavili v prostor s temperaturo 20 °C oz. 10 °C. Vsi poskusi so bili izvedeni v treh paralelkah. Po sedmih dneh smo s fermentacijo zaključili.

2.4 Gravimetrično spremljanje fermentacijskega poskusa s tehtanjem

Potek alkoholne fermentacije smo periodično spremljali s tehtanjem fermentacijskih posod. Iz spremembe mas smo izračunali količino oddanega ogljikovega dioksida v časovni enoti in na podlagi teh vrednosti izrisali krivuljo kemijske kinetike fermentacije.

2.5 Kemijske analize

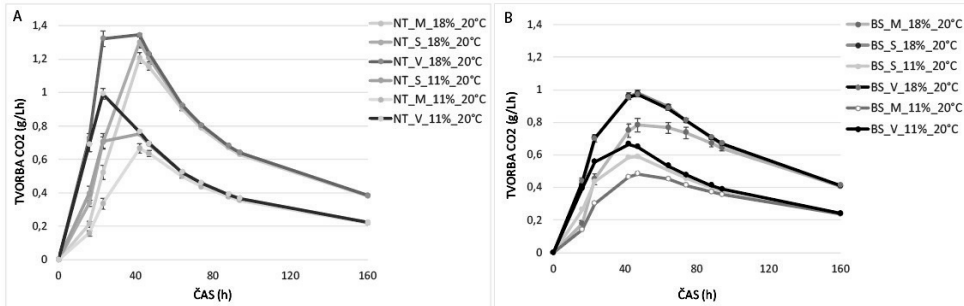
Izvedli smo naslednje analize: navidezni in pravi ekstrakt (Analytica-EBC, 9.4, 2004), alkohol v pivu (Analytica-EBC, 9.2.1, 2008), grenčica v pivu (MEBAK, 2.17.1., 2013b) in prosti aminokislinski dušik (MEBAK, 2.6.4.1, 2013a).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Na sliki 1 je prikazana odvisnost izločenega CO₂ v sladici od časa fermentacije. Poleg hitrejše kinetike pri kvasovkah Nottingham, lahko v prvih 48 h opazimo tudi višje maksimalne vrednosti, ki jih te dosežejo, v primerjavi s kvasovkami Belle Saison.

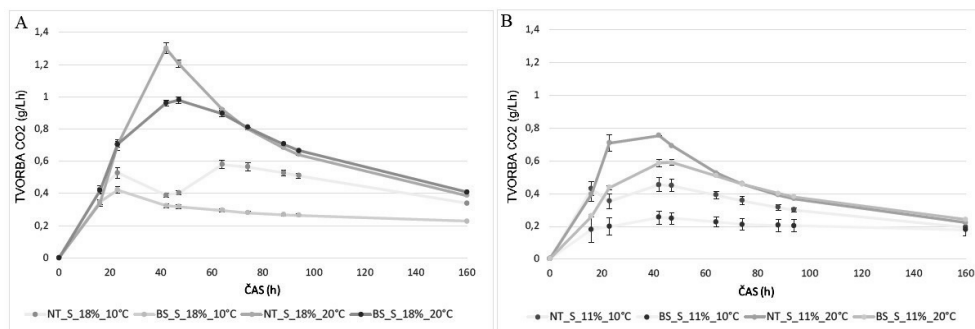
Razlike pri inokulaciji večjih količin kvasovk se bolj odrazijo pri kvasovkah Nottingham, zlasti na začetku fermentacije. To bi lahko pripisali večjemu številu živih in aktivnih celic, ki začnejo hitreje porabljati sladkorje v sladici in izločati CO₂. Bolj kot se fermentacija umirja, bolj poenotene so si vrednosti, saj v sladici ni na voljo več veliko fermentabilnih sladkorjev, ki bi jih kvasovke še lahko uporabile. Ker je rast novih celic pogojena s količino kisika, ki je na voljo v sladici, je povečanje števila celic skoraj neodvisno od začetne koncentracije celic pod enakimi pogoji. V primerjavi z majhno količino inokuliranih kvasovk vodijo večje količine v manjše število celičnih delitev. Količina inokuliranih kvasovk pa vendarle vpliva na rast kvasovk v primeru, da je ta količina prenizka. To vodi v nižji prirast kvasovk, posledično do počasnejše ali celo zaustavljene fermentacije

(Briggas in sod., 2004), vendar je bila v našem primeru 50 g/100 L na spodnji priporočeni meji, zato tako drastičnih posledic nismo zabeležili.



Slika 1: Vpliv količine kvasovk na kinetiko fermentacije piva pri 20 °C; A (kvasovke Nottingham, 11 % oz. 18 % ekstrakta), B (kvasovke Belle Saison, 11 % oz. 18 % ekstrakta), M – majhna količina kvasovk 50 g/100 L, S – srednja količina kvasovk 100 g/100 L, V – velika količina kvasovk 150 g/100 L.

Na sliki 2 je prikazano, kako temperatura fermentacije vpliva na njen potek, uporabili smo srednjo količino inokuluma. Na obeh grafih najprej opazimo strm vzpon krivulje kvasovk Nottingham pri 20 °C, razlika je med kvasovkami očitnejša pri sladici z 11 % ekstraktom. Pri 10 °C smo izmerili večjo aktivnost kvasovk Nottingham kot Belle Saison. Zato lahko kvasovkam Nottingham pripišemo burno fermentacijo s hitrim začetkom. Vpliv temperature se dobro opazi na obeh grafih, pri 20 °C je fermentacija hitrejša. Po drugi strani, nizka temperatura še posebej prizadene aktivnost kvasovk Belle Saison, za katere tudi proizvajalec navaja, da je optimalna fermentacijska temperatura med 15 °C in 35 °C, medtem ko je za kvasovke Nottingham med 10 °C in 22 °C. Na sliki 2 lahko opazimo tudi razliko med fermentacijo v sladici z visokim in nizkim začetnim ekstraktom. Fermentacije v sladici z 18 % začetnega ekstrakta dosegajo višje vrednosti izločenega CO₂, to bi lahko pripisali večji koncentraciji substrata. Vrednosti proti koncu so v sladici z 18 % začetnega ekstrakta nekoliko višje, zaradi česar predvidevamo daljši čas fermentacije ali večji preostanek nepovretil sladkorjev.



Slika 2: Vpliv temperature in vrste kvasovk na kinetiko fermentacije piva pri srednji količini inokuluma; A (kvasovke Nottingham in Belle Saison 18 % ekstrakta), B (kvasovke Nottingham in Belle Saison, 11 % ekstrakta)

Primerjava preglednice 1 in 2 pove, da so stopnje prevrelosti pri kvasovkah Belle Saison v večini višje, kar pomeni, da porabijo več ekstrakta kot kvasovke Nottingham. Vidimo lahko, da imajo kvasovke Belle Saison nižje fermentacijske sposobnosti pri nizkih temperaturah kot kvasovke Nottingham, še zlasti se to izrazi pri sladici z več ekstrakta. Pri slednjih so stopnje prevrelosti pri 10 °C le nekoliko nižje kot pri 20 °C, torej so te kvasovke bolj prilagojene nižjim temperaturam. S primerjavo različnih količin kvasovk opazimo, da ta parameter bistveno ne vpliva na končno stopnjo prevrelosti. To je verjetno posledica daljšega časa, ki so ga imele kvasovke na voljo za fermentacijo in so, ne glede na število celic, porabile ves ekstrakt, ki so ga lahko. Če ob isti količini inokuluma primerjamo še vpliv ekstrakta v osnovni sladici na končno stopnjo prevrelosti pri 20 °C, lahko opazimo, da začetna količina ekstrakta nima bistvenega vpliva na stopnjo prevrelosti.

Preglednica 1: Prevrelost piva, delež alkohola (vol %), vrednost FAN (mg/L), grenčica (IBU) po 7 dneh fermentacije pri različni količini inokuliranih kvasovk Nottingham.

OZNAKA VZORCA	NOTTINGHAM			
	PREVRELOST	ALKOHOL	FAN	GREŇČICA
S_18%_10°C	60,86 ± 0,08	7,44 ± 0,02	95,3 ± 4,7	21,9 ± 0,00
S_18%_20°C	66,62 ± 0,31	4,00 ± 0,40	53,3 ± 2,2	16,4 ± 0,9
S_11%_10°C	61,35 ± 1,43	7,11 ± 0,05	39,3 ± 0,0	14,8 ± 0,4
S_11%_20°C	66,01 ± 0,19	7,52 ± 0,04	30,4 ± 0,3	14,7 ± 0,8
M_18%_20°C	65,19 ± 0,23	4,25 ± 0,20	63,4 ± 2,2	16,1 ± 0,1
V_18%_20°C	67,41 ± 0,38	4,51 ± 0,05	45,3 ± 0,7	15,0 ± 0,4
M_11%_20°C	66,71 ± 1,18	7,48 ± 0,04	25,5 ± 0,9	14,5 ± 0,1
V_11%_20°C	67,94 ± 0,06	4,34 ± 0,04	18,4 ± 0,0	14,0 ± 0,2

Preglednica 2: *Prevrelost piva, delež alkohola (vol %), vrednost FAN (mg/L), grenčica (IBU) po 7. dneh fermentacije pri različni količini inokuliranih kvasovk Belle Saison.*

OZNAKA VZORCA	BELLE SAISON			
	PREVRELOST	ALKOHOL	FAN	GREŇČICA
S_18%_10°C	41,26 ± 0,31	7,80 ± 0,10	135,1 ± 1	20,0 ± 1,3
S_18%_20°C	70,90 ± 0,04	4,68 ± 0,08	77,0 ± 2,6	19,2 ± 0,4
S_11%_10°C	59,01 ± 6,59	4,57 ± 0,04	65,8 ± 0,0	13,0 ± 0,3
S_11%_20°C	70,32 ± 0,68	8,17 ± 0,04	39,5 ± 5,3	13,6 ± 0,7
M_18%_20°C	70,25 ± 0,04	4,21 ± 0,00	85,4 ± 0,1	19,3 ± 0,8
V_18%_20°C	71,93 ± 1,03	4,84 ± 0,02	71,3 ± 0,1	19,4 ± 0,6
M_11%_20°C	70,01 ± 1,00	7,85 ± 0,00	41,8 ± 3,4	13,6 ± 0,3
V_11%_20°C	71,86 ± 0,00	4,80 ± 0,03	33,7 ± 0,1	15,2 ± 1,8

Ob pregledu podatkov o deležu alkohola v pivu opazimo podobnosti s pravo stopnjo prevrelosti, saj sta ta dva parametra povezana (Sparhawk, 2012). Tudi tu se najbolj opazi vpliv temperature in vrste kvasovk na delež alkohola. Pri nižjih temperaturah je pri kvasovkah Belle Saison nastalo skoraj pol manj alkohola kot pa pri višjih temperaturah. Pri kvasovkah Nottingham pa ta razlika ni tako očitna. Vendar tukaj opazimo še močan vpliv količine ekstrakta v osnovni sladici na delež alkohola v pivu, kar je logično, saj lahko iz več sladkorjev, ki jih imajo kvasovke na voljo, nastane več alkohola. Tudi tu opazimo, da količina inokuliranih kvasovk v večji meri ne vpliva na delež alkohola v pivu.

Pri sladici z 12 % ekstraktom se priporoča cca. 130 mg FAN/L. Prenizek FAN onemogoča normalen razvoj kvasovk in lahko privede do podaljšane t. i. lag faze, nepopolne fermentacije ali do razvoja sulfidov. V stacionarni fazi rasti so potrebe po FAN dokaj nizke, višje koncentracije so potrebne le v fazah rasti (Hill in Stewart, 2019). V našem primeru je sladica z 11 % ekstrakta sledila navedenim priporočilom, prav tako smatramo, da je bila vrednost ustrezna v izhodni sladici z 18 % ekstrakta. FAN je bil v sladici z manj ekstrakta pričakovano nižji, kar je posledica večje razredčitve na začetku (del sladice smo pri vzorcih z 11 % ekstrakta nadomestili z vodo, ki ni vsebovala prostih aminokislin). Delež ekstrakta v osnovni sladici je vplival tudi na končne vrednosti, ki so v primeru nižjega ekstrakta nižje. Pri temperaturah fermentacije 10 °C smo opazili, da se vrednosti znižujejo počasneje (podatki niso prikazani) in ne dosežejo tako nizkih vrednosti (preglednici 1 in 2). To bi se lahko dogajalo zaradi počasnejše fermentacije pri tej temperaturi (Kuharczyk in Tuszyński, 2018). Pri podatkih, ki kažejo vpliv različne količine kvasovk, bi pričakovali, da bodo najmanjše spremembe opazne pri mali količini kvasovk (50 g/100L), vendar so bile te vrednosti bolj podobne vzorcem z

veliko količino kvasovk (150 g/100 L) kot pa vzorcem s srednjo količino (100 g/100 L). To nam pokaže, kako pomembna je pravilna izbira količine kvasovk za posamezno fermentacijo. Razlike so opazne tudi pri primerjavi vpliva vrste kvasovk, kvasovke Belle Saison so porabile nekoliko več FAN. To lahko povežemo z navedbami proizvajalca, ki pravi, da daje ta vrsta bolj aromatična piva (Technical ..., 2020b), saj je za tvorbo aromatičnih spojin praviloma potrebna zadostna količina FAN (Hill in Stewart, 2019).

Primerjava vzorcev, kjer je bila temperatura fermentacije različna, kaže, da med vzorci ni bilo večjih razlik v določeni grenčici, sklepamo lahko, da se vrednost IBU znižuje neodvisno od spremembe temperature. So pa razlike vidne pri uporabi različnih vrst kvasovk v povezavi z različnimi količinami ekstrakta v osnovni sladici. To bila lahko bila posledica tega, da kvasovke med fermentacijo vežejo nekaj izo-alfa-kislin, zaradi česar lahko pivo izgubi na grenčici (Colby, 2014). Neodvisno od količine inokuluma, je bila pri 18 % ekstrakta hitrejša izguba IBU opazna pri kvasovkah Nottingham, medtem ko smo pri 11 % ekstraktu zabeležili različen trend. Pri vzorcih z večjo količino ekstrakta v osnovni sladici, se je tudi vrednost IBU bolj znižala. To je prav tako opazil avtor članka, ki je preučeval spremembe vrednosti IBU med celotnim postopkom izdelave piva (Justus, 2018). Ob primerjavi vseh različnih dejavnikov lahko opazimo, da na izgubo grenkih snovi preučevani dejavniki ne vplivajo bistveno.

4 ZAKLJUČEK

Rezultati analiz so pokazali, da višja temperatura vpliva na hitrost fermentacije, še posebej v začetku. Pri spremljanju kinetike fermentacije smo opazili še, da kvasovke Nottingham začno fermentirati hitreje in burneje, prav tako sta na hitrejšo fermentacijo vplivali večja količina kvasovk in ekstrakta v osnovni sladici. Kvasovke Belle Saison pri nizkih temperaturah fermentirajo slabše kot kvasovke Nottingham. Količina ekstrakta v osnovni sladici vpliva na aktivnost kvasovk v smislu hitrosti fermentacije, saj kvasovke pri sladici z nižjim ekstraktom niti v vrhu fermentacije ne dosežejo takšnih hitrosti kot kvasovke pri sladici z višjim ekstraktom. Na prevrelost sta imela največji vpliv temperatura in sev kvasovk, kjer smo zaznali večjo prevrelost pri kvasovkah Belle Saison in pri višjih temperaturah. Analize stopnje alkohola po koncu fermentacije so pokazale, da pri višji temperaturi nastane več alkohola. To je bolj očitno pri kvasovkah Belle Saison. Padec FAN je manjši pri nižjih temperaturah in srednji količini uporabljenih kvasovk, kvasovke Belle Saison pa porabijo več FAN kot kvasovke Nottingham. Kar se tiče grenčice, na padec IBU enot ne vpliva veliko dejavnikov, so pa opazne razlike pri vzorcih z višjo začetno količino ekstrakta v povezavi z uporabljenimi kvasovkami.

5 VIRI

- Analytica-EBC, metoda 9.21 – Alcohol in beer by distillation, 2008, <https://brewup.eu/ebcanalytica>
- Analytica-EBC, metoda 9.4 – Original, real and apparent extract and original gravity of beer, 2004, <https://brewup.eu/ebcanalytica>
- Bokulich, N. A. in Bamforth, C. W. (2013). The microbiology of malting and brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 77(2), 157-172.
- Boulton, C. (2013). *Encyclopaedia of brewing*. John Wiley & Sons.
- Briggs, D. E., Boulton C. A. in Brookes P. A. (2004). *Brewing science and practice*. Woodhead Publishing Limited
- Colby, C. (2014). Different yeast strains yield different IBUs. *Beer and Wine Journal* <https://beerandwinejournal.com/yeast-strains-ibus/>
- Ferreira, I. M. in Guido, L. F. (2018). Impact of wort amino acids on beer flavour: A review. *Fermentation*, 4(2), 1-23. <https://doi.org/10.3390/fermentation4020023>
- Hill, A. E. in Stewart, G. G. (2019). Free amino nitrogen in brewing. *Fermentation*, 5(1), 1-22. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010022>
- Justus A. (2018). Tracking IBU through the brewing process: the quest for consistency. *MBAA Technical Quarterly*, 55(3) 67-74.
- Kallmayer, M. (2004). Making sense of FAN (free amino nitrogen). *Drayman's Brewery*. <https://draymans.com/making-sense-of-fan-free-amino-nitrogen>
- Kucharczyk, K. in Tuszyński, T. (2018). The effect of temperature on fermentation and beer volatiles at industrial scale. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(13), 230-235.
- MEBAK, metoda 2.6.4.1. - Free amino nitrogen, MEBAK, Wort, beer and beer based beverages, Collection of brewing analysis methods of the Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission. Ed. Fritz Jacob, Freising-Weihenstephan; MEBAK, 2013a: 86-89.
- MEBAK, metoda 2.17.1. - Bittering units (EBC), MEBAK, Wort, beer and beer based beverages, Collection of brewing analysis methods of the Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission. Ed. Fritz Jacob, Freising-Weihenstephan; MEBAK, 2013b: 240-243.
- Oliver, G. (2012). *The Oxford companion to beer*. Oxford University Press.
- Sitka J. (2019). Controlling fermentation temperature. *Vermont Brew Your Own: 1 str.* <https://byo.com/article/controlling-fermentation-temperature-techniques>
- Sparhawk A. (2012). Defining beer gravity. *CraftBeer.com* <https://www.craftbeer.com>
- Technical Data Sheet. (2020). BELLE SAISON. LALLEMAND Inc. <https://www.lallemantbrewing.com/en/canada/product-details/belle-saison-beer-yeast>
- Technical Data Sheet. (2020). NOTTINGHAM. LALLEMAND Inc. <https://www.lallemantbrewing.com/en/canada/product-details/nottingham-high-performance-ale-yeast>