

Ta članek je objavljen pod licenco Creative Commons [Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna](#).

MOŽNOST PONOVNE UPORABE HMELJA PO HLADNEM HMELJENJU

Ana Kočevar BALOH¹, Ksenija OBROVNIK², Miha OCVRK³ in Iztok Jože KOŠIR⁴

Tipologija / Article type: Strokovni članek / Professional article

Prispelo / Arrived: 22. 10. 2025

Sprejeto / Accepted: 11. 12. 2025

Objavljeno / Published: December 2025

Izvleček

Študija preučuje možnost ponovne uporabe hmelja po uporabi v postopku hladnega hmeljenja (dry hopping), kjer zaradi nizkih temperatur ne pride do znatne izomerizacije alfa-kislin. Namen raziskave je bil oceniti, ali tak hmelj po sušenju ohrani zadostno vsebnost greničnih spojin za učinkovito ponovno uporabo pri klasičnem vretju pивine. V raziskavi so bili uporabljeni briketi sort hmelja Styrian Dragon in Aurora, ki so bili vključeni v tri- oziroma petdnevno hladno hmeljenje, nato posušeni in ponovno uporabljeni pri varjenju piva. Grenčico v pivu smo določali spektrofotometrično (IBU) in s tekočinsko kromatografijo visoke ločljivosti (HPLC). Rezultati so pokazali, da se je po hladnem hmeljenju vsebnost alfa-kislin v hmelju zmanjšala za 29 % pri sorti Aurora in za 36 % pri sorti Styrian Dragon. Kljub temu je ponovno uporabljen hmelj omogočil tvorbo primerljivih ali celo višjih koncentracij izo-alfa-kislin v pivu kot svež hmelj, zlasti pri 60-minutnem vretju. Najvišje izmerjene vrednosti grenčice so presegale 90 IBU, kar potrjuje, da hmelj po hladnem hmeljenju ohrani zadosten grenični potencial. Rezultati potrjujejo, da je ponovna uporaba hmelja po hladnem hmeljenju tehnološko izvedljiva in predstavlja trajnostno možnost za zmanjšanje odpadkov in stroškov surovin v pivovski industriji.

Ključne besede: hmelj, hladno hmeljenje, ponovna uporaba, grenčica, izo-alfa-kisline

POSSIBILITY OF REUSING HOPS AFTER DRY HOPPING

Abstract

This study investigates the potential for reusing hops after the use in dry hopping process, during which low temperatures prevent the extend isomerization of alpha-acids. The aim was to evaluate whether such hops, once dried, retain sufficient quantity of bitter compounds for effective reuse in conventional kettle hopping. Two hop varieties, Styrian Dragon and Aurora, were used in three- and five-day dry hopping treatments, then dried and reused in kettle hopping. Bitterness was determined spectrophotometrically (IBU) and by high-performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that alpha-acid content decreased by 29% in Aurora and by 36% in Styrian Dragon after dry hopping. Nevertheless, reused hops produced comparable or even higher concentrations of iso-alpha-acids than fresh hops, particularly after 60 minutes of wort boiling. The highest measured bitterness values exceeded 90 IBU, confirming that hops retain a sufficient bitterness potential after dry hopping. These findings demonstrate that reusing hops after dry hopping is technologically feasible and represents a sustainable approach to reducing waste and raw material costs in the brewing industry.

Key words: hops, dry hopping, reuse, bitterness, iso-alpha-acids

¹ Študentka Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF UL), e-pošta: anakocevarbaloh@gmail.com

² Dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS), e-pošta: ksenija.obrovnik@ihps.si

³ Dr., IHPS, e-pošta: miha.ocvirk@ihps.si

⁴ Izr. prof. dr., IHPS in BF UL, e-pošta: iztok.kosir@ihps.si

1 UVOD

Hmelj (*Humulus lupulus* L.) je nepogrešljiva surovina v pivovarstvu, saj pomembno prispeva k značilni grenčici, aromi in stabilnosti piva. Glavni povzročitelji grenkobe v pivu so tako imenovane izo-alfa-kisline, ki nastanejo z izomerizacijo alfa-kislin iz hmelja med vrenjem pivine. To vrenje običajno poteka pri približno 102 °C in traja 60–90 minut. V tem koraku se hmelj doda v pivino, njegove alfa-kisline pa se ekstrahirajo in izomerizirajo, s čimer se pivu doda grenkoba (Calado in sod., 2019). Žleze lupulina na ženskih storžkih hmelja vsebujejo mehke smole in sicer alfa-kisline (predvsem kohumulon, humulon, adhumulon) ter beta-kisline (predvsem kolupulon, lupulon, adlupulon). Te kisline med toplotno izomerizacijo izomerizirajo v izo-alfa-kisline, ki predstavljajo glavne grenčične spojine v pivu. Pri izomerizaciji se vsak izomer izo-alfa-kislin pojavlja kot trans- in cis-stereoizomera v razmerju približno 3:7 pri običajno hmeljenih pivih (Oladokun in sod., 2016).

Grenčico hmelja je mogoče prilagajati tudi z neposrednim dodajanjem komercialnih hidrogeniranih izo-alfa-kislin v pivino. Poleg grenčice pa izo-alfa-kisline prispevajo še k stabilnosti pene in predvsem beta-kisline imajo še antibakterijske lastnosti. Raziskave celo kažejo, da uživanje izo-alfa-kislin lahko preprečuje demenco in kognitivni upad, povezan z debelostjo (Calado in sod., 2019).

Poleg klasičnega hmeljenja med vrenjem se v sodobnem pivovarstvu vse pogosteje uporablja tudi »dry hopping« ali hladno hmeljenje. Gre za postopek, pri katerem se hmelj dodaja ohlajenemu pivu, običajno med fermentacijo ali zorenjem, s čimer se v pivo prenese predvsem aromatični del eteričnih olj, medtem ko alfa-kisline ostanejo neizomerizirane in zelo slabo topne (Kirkpatrick in Shellhammer, 2018). Tak pristop omogoča bogatejši aromatični profil, vendar pomeni, da po končanem postopku v ostanku hmelja ostane znatna količina neizkoriščenih grenčičnih spojin.

Zaradi velike količine odpadkov v pivovski industriji in trenda trajnostnega krožnega gospodarstva se pojavlja vprašanje, ali bi bilo mogoče tak hmelj po hladnem hmeljenju ponovno uporabiti. Če morebiti hmelj po ponovnem sušenju ohrani zadostno vsebnost alfa-kislin, bi ga bilo mogoče ponovno uporabiti kot sekundarni vir grenčice pri klasičnem kuhanju piva. Tak pristop bi lahko zmanjšal količino odpadkov, stroške surovin in bi to pomembno vplivalo na obremenjevanje okolja.

Hmelj je ena glavnih sestavin pri proizvodnji piva in poleg dodajanja okusa ter arome. Njegova glavna vloga v končnem pivu izhaja iz grenčice, ki nastane pri dodajanju pri visokih temperaturah. Danes obstaja veliko sort hmelja z zelo raznoliko sposobnostjo tvorjenja grenčice, ki je povezana s koncentracijo in sestavo alfa- in beta-kislin. Celotno pri isti sorti se lahko vsebnost alfa-kislin razlikuje zaradi različnih pedoklimatskih razmer, kar je značilno za naravne proizvode. Zato mora pivovar natančno prilagoditi količino dodanega hmelja, da zagotovi enakomerno grenčico med različnimi serijami istega piva. Posledično je merjenje grenčice piva ključno za proizvodnjo kakovostnih piv.

Namen tega dela je bil preučiti možnost ponovne uporabe hmelja po hladnem hmeljenju kot vira grenčičnih spojin. Analizirali smo, ali tak hmelj še vsebuje dovolj alfa-kislin, da ob klasičnem vretju omogoči zadostno tvorbo izo-alfa-kislin in razvoj ustrezne grenčice v pivu. S tem želimo prispevati k boljšemu razumevanju potenciala ponovne uporabe hmelja v pivovarskem procesu ter k razvoju bolj trajnostnih praks v industriji.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 Material in zasnova poskusa

V raziskavi smo uporabili sveže in že rabljene brikete hmelja sort Styrian Dragon in Aurora.

Hladno hmeljenje je potekalo v dveh paralelkah 3 in 5 dni pri 20 °C, v odmerku 500 g/hl. Po končanem postopku smo hmelj ločili od piva s filtracijo, ga iztisnili in posušili pri temperaturi do 40 °C, da bi preprečili izgubo hlapnih komponent in razgradnjo grenčičnih spojin. Posušeni hmelj smo nato uporabili za pripravo novih piv po klasičnem postopku vretja.

Za preverjanje potenciala ponovne uporabe hmelja smo iz posušenega hmelja, pridobljenega po hladnem hmeljenju, pripravili dvanajst različnih vzorcev piva, ki so se razlikovali po sorti, času hladnega hmeljenja in času kuhanja:

- Aurora, 0 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Aurora, 0 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja;
- Aurora, 3 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Aurora, 3 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja;
- Aurora, 5 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Aurora, 5 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja;

- Styrian Dragon, 0 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Styrian Dragon, 0 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja;
- Styrian Dragon, 3 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Styrian Dragon, 3 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja;
- Styrian Dragon, 5 dni hladnega hmeljenja, 10 minut kuhanja;
- Styrian Dragon, 5 dni hladnega hmeljenja, 60 minut kuhanja.

V vseh primerih je bil dodatek hmelja preračunan tako, da je bil odmerek alfa-kislin v pivini enak, torej 250 mg alfa-kislin na liter piva. Pivina je bila kuhana pri 100 °C, nato ohlajena, inokulirana s pivskim kvasom vrste *Saccharomyces cerevisiae* (US-05, Fermentis by Lesaffre, Belgija) in fermentirana pri standardnih pogojih za ale piva pri 20 °C. Po končanem postopku fermentacije so bili vzorci piva pripravljena za nadaljnje analize.

Hkrati smo analizirali še štiri vzorce piva, ki smo jih dobili po hladnem hmeljenju s svežimi briketi hmelja:

- sorta Aurora, 3 dni namakanja;
- sorta Aurora, 5 dni namakanja;
- sorta Dragon, 3 dni namakanja;
- sorta Dragon, 5 dni namakanja.

2.2 Določanje grenčice spektrofotometrično

Grenčico piva smo določali po standardni metodi Analytica-EBC 9.8 (EBC Analytica, 2020). Iz vzorcev piva smo z izooktanom (CARLO ERBA Reagents S.A.S., Francija) ekstrahirali grenke spojine, pri čemer se v organsko fazo prenesejo predvsem izo-alfa-kislina. Absorbanca izooktanskega ekstrakta je bila izmerjena pri 270 nm z UV-Vis spektrofotometrom (UV-1900, Shimadzu, Japonska). Vrednost grenčice je bila izražena v enotah grenčice (IBU) po enačbi:

$$IBU = A_{270} \times 50$$

kjer je A_{270} absorbanca pri 270 nm.

2.3 Določanje izo-alfa-kislin s HPLC

Koncentracijo izo-alfa-kislin smo določili z metodo tekočinske kromatografije visoke ločljivosti (HPLC) po metodi Analytica-EBC 9.47 (EBC Analytica, 2018). Analize smo izvedli na sistemu Agilent 1260 Infinity II (Agilent Technology, ZDA) z detektorjem UV-Vis pri 270 nm. Uporabili smo kolono Nucleodur® 5–100 C18 (125 × 4 mm; Macherey-Nagel, Düren, Nemčija), temperaturo kolone 40 °C in pretok 1 mL/min. Mobilna faza je bila sestavljena iz metanola (J. T. Baker, Norveška), vode in fosforjeve kisline (CARLO ERBA Reagents S.A.S., Francija) (v razmerju 775:210:9; v/v/v). Identifikacija izo-humulona, izo-kohumulona in izo-adhumulona je temeljila na primerjavi retencijskih časov z raztopinami standardov (ICE4, LaborVeritas, Švica), kvantifikacija pa na osnovi kalibracijskih krivulj.

2.4 Izračuni in obdelava podatkov

Vrednosti koncentracij izo-alfa-kislin, izražene v mg/L, smo primerjali med vzorci, da bi ovrednotili vpliv sorte in časa vretja na količino izo-alfa-kislin ter na intenzivnost grenčice. Za izračune in grafično predstavitev rezultatov smo uporabili programski paket Microsoft Excel 365.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Oba vzorca svežih briketov hmelja smo najprej analizirali in s tem pridobili naše izhodiščne podatke. Za tem smo jih uporabili pri postopku hladnega hmeljenja v pivu tipa lager (Zlatorog, Pivovarna Laško Union d.o.o.), s sledečo kakovostjo: vsebnost alkohola 5,22 vol.%, ekstrakt v osnovni sladici je bil 11,11 %, grenčica 18,8 IBU, vsebnost izo-alfa-kislin pa 16,3 mg/L.

Styrian Dragon je sorta hmelja, ki je zaradi dobrih pridelovalnih lastnosti in odpornosti na bolezni dobro sprejeta pri hmeljarjih. Ker ima sveže citrusne arome, jo uporabljajo zlasti za posebne tipe piva. Tipično vsebuje med 6,0 in 11,0 ut. % alfa-kislin ter med 1,5–2,1 mL eteričnega olja / 100 g hmelja (IHPS, 2016). Naš vzorec (briketi hmelja sorte Styrian Dragon) je imel na začetku poskusa 7,0 ut. % alfa-kislin in 0,5 mL eteričnega olja / 100 g (preglednica 1).

Sorta Aurora je prepoznavna po prijetni hmeljni aromi in grenčici, ki se odražata v zelo dobri pivovarski vrednosti. Tipično vsebuje med 7,2 in 12,6 ut. % alfa-kislin ter med 0,9 in 1,6 mL eteričnega olja / 100 g hmelja, kar je opazno manj kot sorta Styrian Dragon. Zato se manj uporablja pri postopkih hladnega

hmeljenja (IHPS, 2016). Naš vzorec briketov je imel na začetku 10,0 ut. % alfa-kislin in 0,9 mL eteričnega olja / 100 g hmelja (preglednica 1). Oba vzorca hmelja smo pridobili pri Hmezad export-import d.o.o..

Rezultati analize vsebnosti alfa- in beta-kislin v hmelju sort Aurora in Styrian Dragon so prikazani v preglednici 1. Rezultati določanja grenčice sprektrofotometrično in določanje izo-alfa-kislin s HPLC v pivu so podani v preglednici 2.

Preglednica 1: Vsebnost alfa- in beta-kislin ter razmerje alfa/beta v briketih hmelja sort Aurora in Styrian Dragon pred in po postopku 3- oziroma 5-dnevnega hladnega hmeljenja

SORTA	Čas hladnega hmeljenja (v dneh)	Alfa-kisline ut.% (s.s.)	Beta-kisline ut.% (s.s.)	Alfa/beta
Aurora	0	10,0	4,5	2,2
Aurora	3	7,6	2,7	2,8
Aurora	5	7,1	2,5	2,8
Styrian Dragon	0	7,0	6,2	1,1
Styrian Dragon	3	6,6	5,8	1,1
Styrian Dragon	5	4,5	3,3	1,4

Preglednica 2: Grenčica piva, določena spektrofotometrično (IBU), in koncentracije skupnih izo-alfa-kislin, določene s HPLC, pri pivih, pripravljenih iz svežega in ponovno uporabljenega hmelja sort Aurora in Styrian Dragon

SORTA	Čas hladnega hmeljenja (v dneh)	Čas kuhanja sladice (min)	Povprečna grenčica – spektrofotometrično (IBU)	Povprečje skupnih izo-alfa kislin – HPLC (mg/L)
Aurora	0	10	38,2985	10,75
Aurora	5	0	43,6005	9,60
Aurora	3	0	47,8980	9,90
Aurora	0	60	61,1220	26,95
Aurora	3	10	62,9680	14,75
Aurora	5	10	64,8060	8,55
Aurora	3	60	72,7445	17,45
Aurora	5	60	85,8510	35,40
Styrian Dragon	3	0	34,7260	20,85
Styrian Dragon	0	10	37,4835	6,00
Styrian Dragon	5	0	43,6485	12,30
Styrian Dragon	3	10	61,7560	16,20
Styrian Dragon	0	60	68,0545	23,05
Styrian Dragon	3	60	69,0665	57,00
Styrian Dragon	5	60	94,7935	50,35
Styrian Dragon	5	10	97,8200	12,35

3.1 Spremembe vsebnosti grenčičnih kislin v hmelju po hladnem hmeljenju

Po postopku hladnega hmeljenja se je vsebnost alfa-kislin v uporabljenem hmelju obeh sort izrazito zmanjšala, pri čemer je bil upad izrazitejši pri sorti Styrian Dragon. V hmelju sorte Aurora se je koncentracija alfa-kislin znižala z začetnih 10,0 ut.% na 7,6 ut.% po treh in 7,1 ut.% po petih dneh hmeljenja, kar predstavlja približno 29-odstotno zmanjšanje. Pri sorti Styrian Dragon pa se je vsebnost alfa-kislin znižala s 7,0 ut.% na 6,6 ut.% po treh in 4,5 ut.% po petih dneh, kar pomeni zmanjšanje za približno 36 %.

Zmanjšanje alfa-kislin med hladnim hmeljenjem je mogoče pripisati ekstrakciji v pivo in oksidaciji med podaljšanim stikom z alkoholnim medijem in zrakom pri nizkih temperaturah. Medtem ko se pri sortah z višjo začetno vsebnostjo alfa-kislin (npr. sorta Aurora) del teh spojin ohrani tudi po večdnevem stiku, so sorte z nižjim deležem (npr. sorta Styrian Dragon) bolj podvržene razgradnji in oksidaciji.

Vsebnost beta-kislin je pri pivih iz obeh sort prav tako upadla, pri čemer je bila izguba nekoliko večja pri sorti Styrian Dragon (s 6,2 na 3,3 ut.%). Posledično se je razmerje alfa/beta pri sorti Aurora celo nekoliko povečalo (z 2,2 na 2,8), kar kaže na selektivno izgubo beta-kislin, medtem ko je pri sorti Styrian Dragon razmerje ostalo nizko (1,1–1,4). To nakazuje različne kemijske stabilnosti obeh sort in potencialno večjo odpornost kislin v hmelju sorte Aurora na oksidativne procese med hladnim hmeljenjem.

3.2 Grenčica piva in vsebnost izo-alfa-kislin

Rezultati spektrofotometričnega določanja grenčice (IBU) in koncentracij izo-alfa-kislin, določenih s HPLC, so predstavljeni v preglednici 2. Pri obeh sortah je bilo pričakovano zaznано povečanje grenčice z daljšim časom kuhanja, kar je posledica učinkovitejše izomerizacije alfa-kislin. Pri pivu, pripravljenem iz še nerabljenih briketov hmelja sorte Aurora, je grenčica znašala 38,3 IBU po 10 minutah in 61,1 IBU po 60 minutah kuhanja, kar pomeni povečanje za približno 60 %. Podobno se je v pivu z uporabljenim hmeljem sorte Styrian Dragon vrednost IBU povečala s 34,7 na 68,0 IBU. V pivu, pripravljenem iz ponovno uporabljenih briketov po petih dneh hladnega hmeljenja, so bile vrednosti IBU celo višje – do 85,9 IBU v pivu iz sorte Aurora in 94,8 IBU v pivu sorte Styrian Dragon, kar kaže, da je kljub predhodni uporabi hmelj ohranil zadostno količino prekursorjev za tvorbo izo-alfa-kislin.

Kvantitativna analiza s HPLC je potrdila podobne trende. Koncentracije skupnih izo-alfa-kislin so bile v pivu iz sorte Aurora med 8,55 in 35,40 mg/L, v pivu iz sorte Styrian Dragon pa med 6,00 in 57,00 mg/L. Vrednosti so bile v splošnem višje pri vzorcih, kuhanih 60 minut, kar potrjuje pričakovano odvisnost izomerizacije od časa vretja.

Zanimivo je, da je pri sorti Styrian Dragon po petih dneh hladnega hmeljenja in 60 minutah vretja koncentracija izo-alfa-kislin dosegla 50,35 mg/L, kar presega vrednosti pri svežem hmelju. Ta pojav bi lahko bil posledica lažje topnosti delno oksidiranih hmeljnih smol ali prisotnosti humulinonov, ki prispevajo k grenkobi in se zaradi nizke specifičnosti metode deloma zaznajo tudi v spektrofotometrični metodi, predstavljeni zgoraj.

Spektrofotometrično določene vrednosti IBU so bile večinoma nekoliko višje od koncentracij izo-alfa-kislin, kar je skladno s pričakovanji, saj metoda meri tudi oksidirane produkte in druge grenke spojine. Kljub temu pa je bila med obema metodama opažena jasna korelacija, kar potrjuje zanesljivost rezultatov.

3.3 Vpliv sorte in časa obdelave na potencial ponovne uporabe hmelja

Rezultati kažejo, da ima hmelj po hladnem hmeljenju, kljub zmanjšani vsebnosti alfa-kislin, še vedno zadosten grenčični potencial za ponovno uporabo v klasičnem varjenju piva.

Briketi iz hmelja sorte Aurora so ohranili večji delež aktivnih grenčičnih spojin, kar se je odrazilo v postopnem, a enakomernem povečanju grenkobe z daljšim časom kuhanja. Sorta Styrian Dragon je izkazovala večje razlike med posameznimi vzorci, ki so bili različno dolgo izpostavljeni hladnemu hmeljenju, kar nakazuje neenakomerno ekstrakcijo in večjo občutljivost kislin za razgradnjo med kasnejšim sušenjem in ponovnim vretjem.

4 ZAKLJUČKI

Rezultati raziskave so pokazali, da ima hmelj po postopku hladnega hmeljenja še vedno pomemben potencial za ponovno uporabo v pivovarskem procesu. Kljub delni izgubi alfa-kislin med hladnim hmeljenjem so briketi sort Aurora in Styrian Dragon po sušenju vsebovali dovolj aktivnih spojin, da je bila omogočena učinkovita izomerizacija in tvorba izo-alfa-kislin med klasičnim vretjem pивine.

Vrednosti grenkobe, izražene v IBU, in koncentracije izo-alfa-kislin so bile pri pivu, pripravljenem iz recikliranega hmelja, primerljive ali celo višje kot pri pivu iz svežega hmelja, zlasti pri daljšem času vretja (60 min). To potrjuje, da ponovno uporabljen hmelj lahko prispeva k ustrezni stopnji grenčice v pivu.

Na splošno lahko zaključimo, da ima ponovna uporaba hmelja po hladnem hmeljenju potencial, saj omogoča doseganje primerljivih ali celo višjih vrednosti grenčice kot pri svežem hmelju, kar so pokazali tudi rezultati našega poskusa. Vendar je treba upoštevati, da se z vsakim ciklom uporabe spreminja kemijska sestava hmeljnih smol in s tem potencialno tudi senzorični profil okusa piva.

Za optimalno uporabo recikliranega hmelja v pivovarstvu bi bilo zato priporočljivo določiti standardizirane pogoje sušenja, shranjevanja in dodajanja, ki bi zagotovili stabilnost in ponovljivost rezultatov.

Ugotovitve kažejo, da je ponovna uporaba briketov hmelja po hladnem hmeljenju možna in tehnološko smiselna možnost za delno nadomestitev svežega hmelja. Tak pristop bi lahko prispeval k zmanjšanju količine odpadkov hmelja, nižjim stroškom surovin in večji trajnosti proizvodnje.

Nadaljnje raziskave bi morale vključiti senzorično oceno piva, podrobnejšo karakterizacijo oksidacijskih produktov in preučitev možnosti večkratne ponovne uporabe hmelja v različnih slogih piva.

Zahvala

Avtorji prispevka se zahvaljujejo podjetju Hmezad export-import d.o.o. za vzorce hmelja, uporabljene v raziskavi.

Dostopnost raziskovalnih podatkov

Podatki so na voljo pri zadnjem avtorju na utemeljeno zahtevo.

5 VIRI

- Calado, L. S., Lacerda, A. L. F., Fiaux, S. B., Sphaier, L. A., Silva, V. N. H., & Peixoto, F. C., [Low-cost fluorescence-based method for beer bitterness measurement](#), Journal of Food Engineering, 2019, 262, 9-12, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.015>
- EBC Analytica, 9.47 – [Iso- \$\alpha\$ -acids and reduced iso- \$\alpha\$ -acids \(Rho, Tetra, Hexa\) in beer by HPLC, 2010](#), 23. oktober 2018, dostop 19. oktober 2025, <https://brewup.eu/ebc-analytica/beer/iso-acids-and-reduced-iso-acids-rho-tetra-hexa-in-beer-by-hplc/9.47>
- EBC Analytica, 9.8 - [Bitterness units \(BU\) of beer \(IM\)](#), 2020, 23. november 2020, dostop 19. oktober 2025, <https://brewup.eu/ebc-analytica/beer/bitterness-of-beer-im/9.8>
- Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, [Legenda žlahtne arome](#), 2016 <https://view.publitas.com/ihps-sihrb/the-legend-of-noble-aroma/page/1>
- Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, [Val dišavnega hmelja s Štajerske](#), 2018. <https://www.ihps.si/wp-content/uploads/2016/10/Katalog-disavnih-sort-IHPS-web-zakl.pdf>
- Kirkpatrick, K. R., & Shellhammer, T. H., Evidence of dextrin hydrolyzing enzymes in Cascade hops (*Humulus lupulus*), Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(34), 9121-9126,
- Kirkpatrick, K. R., & Shellhammer, T. H., [Evidence of dextrin hydrolyzing enzymes in Cascade hops \(*Humulus lupulus*\)](#), Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(34), 9121-9126, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03563>
- Oladokun, O., Tarrega, A., James, S., Smart, K., Hort, J., & Cook, D., [The impact of hop bitter acid and polyphenol profiles on the perceived bitterness of beer](#), Food chemistry, 2016, 205, 212-220, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.023>