

SKLADIŠČNA OBSTOJNOST SLOVENSKIH DIŠAVNIH SORT HMEIJA

Andreja ČERENAK¹ in Iztok Jože KOŠIR²

Strokovni članek / professional article

Prispelo / received: 4. 11. 2016

Sprejeto / accepted: 22. 11. 2016

Izveček

Skladiščna obstojnost je zelo pomembna lastnost hmelja, saj lahko procesi staranja zelo negativno vplivajo na njegovo pivovarsko vrednost. Kot ostale agronomsko pomembne lastnosti se skladiščna obstojnost ocenjuje pri vseh perspektivnih križancih hmelja vključenih v slovenski žlahtniteljski program. V primeru dišavnih sort hmelja je poleg klasične ocene staranja zelo pomembna tudi ocena staranja eteričnega olja, ki je glavni nosilec hlapnega dela arome hmelja v pivu. Glede na rezultate spreminjanja sestave eteričnega olja sort Styrian Cardinal in Styrian Wolf ter sort v preizkušanju 102/44 ter 105/220 lahko zaključimo, da je za optimalno skladiščenje zlasti pomembno pakiranje v neprodušno zaprte embalažne enote, hkrati z obveznim hranjenjem hmelja pri nizkih temperaturah.

Ključne besede: hmelj, *Humulus lupulus*, skladiščna obstojnost, KVH-TE, eterična olja, indeks staranja hmelja

STORAGE STABILITY OF SLOVENIAN FLAVOUR HOP VARIETIES

Abstract

Storage stability is a very important hop quality trait since aging processes could negatively influence on its brewing value. As other important agronomic traits, storage stability is a characteristic observed at all perspective hop hybrids included in the Slovenian breeding program. In the case of flavour hop varieties aside of classical assessment of storage stability also the assessment of essential oil stability as the main holder of volatile part of beer aroma is very important. According to the detected changes in composition of essential oils at hop varieties Styrian Cardinal, Styrian Wolf and breeding lines 102/44, 105/220 it could be concluded, that the most important factor for optimal storage is hermetically sealed packaging besides hop storage at low temperatures which is mandatory as well.

Keywords: hop, *Humulus lupulus*, storage stability, LCV, essential oil, hop storage index

¹ Doc. dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, Slovenija, e-pošta: andreja.cerenak@ihps.si

² Doc. dr., prav tam, e-pošta: iztok.kosir@ihps.si

1 UVOD

Najpomembnejše kemijske sestavine hmelja (*Humulus lupulus* L.) za pivovarstvo so grenčice (alfa-kisline, beta-kisline) in eterično olje. Vsebnost le-teh začne upadati takoj po obiranju. Hitrost zmanjševanja navedenih komponent je odvisna od temperature skladiščenja, prisotnosti zraka oz. kisika v okolju, od katerih je najpogostejši kontroliran dejavnik skladiščenja še vedno temperatura zraka (Methods, 1992; Srečec in sod., 2009). Nižja kot je temperatura zraka in vsebnost kisika, počasnejše je razpadanje metabolitov. Sorta hmelja in njene značilnosti imajo v procesu staranja najpomembnejšo vlogo; ob istih pogojih skladiščenja določene sorte izgubijo znatno več alfa-kislin kot druge.

Kisik povzroča oksidacijo alfa-kislin, s čimer se zmanjša in spremeni grenkoba hmelja in je preprečena izomerizacija alfa-kislin, ki je pomemben proces tekom hmeljenja piva. Oksidirane spojine povzročijo privonj po sesirjenemu, ki ga zaznamo pri starem hmelju. Stiskanje hmelja v bale in brikete ter pakiranje slednjih v nepredušno zaprte aluminijaste vrečke zagotavlja dobro zaščito pred izpostavljanjem hmelja zraku. Proces staranja se prav tako pospeši v primeru, če je hmelj med skladiščenjem izpostavljen svetlobi, kar pa večinoma v praksi ni problem.

Rezultat oksidacijskih in razpadnih procesov v storžkih hmelja tekom skladiščenja je spremenjena količina in sestava hmeljnih smol, eteričnega olja in polifenolov. Razlike med različnimi sortami hmelja so posledica v količini encima oksidaze alfa-kislin, količini endogenih antioksidantov in prepustnosti membrane lupulinskih žlez za kisik (Virant in Majer, 2003).

Običajno se skladiščna obstojnost določa na podlagi padca vsebnosti alfa-kislin v določenem času. HSI (Hop Storage Index; indeks staranja hmelja) je število, dobljeno s spektrofotometrično določitvijo alfa- in beta-kislin ter predstavlja razmerje med vsebnostjo alfa-kislin in njihovih oksidacijskih produktov. Nickers in Menary (1980) sta predlagala sledeče kriterije za skladiščno obstojnost sort hmelja, shranjenih šest mesecev pri 20 °C, ki so v veljavi še danes:

- zelo dobra skladiščna obstojnost: hmelj vsebuje 80 - 90 % začetne vsebnosti alfa-kislin,
- dobra skladiščna obstojnost: hmelj vsebuje 60 - 80 % začetne vsebnosti alfa-kislin,
- slaba skladiščna obstojnost: hmelj vsebuje manj kot 50 % začetne vsebnosti alfa-kislin.

Kakovost hmelja med skladiščenjem je povezana z opisnim ocenjevanjem stopnje svežine. V preglednici 1 je prikazano zmanjšanje vsebnosti alfa-kislin in HSI za različne kategorije hmelja (Foster, 2001).

Preglednica 1: *Kakovost hmelja, izražena z izgubami alfa-kislin in HSI vrednostjo med skladiščenjem (Foster, 2001)*

Table 1: *Hop quality expressed as alpha-acid losses and HSI value during the storage (Foster, 2001)*

Kategorije hmelja	Zmanjšanje alfa-kislin (% rel.)	Indeks staranja hmelja (HSI)
Svež	0 – 10	< 0,32
Rahlo postaran	11 – 20	0,33 – 0,40
Star	21 – 30	0,41 – 0,50
Močno star	31 – 40	0,51 – 0,60
Prestar	> 40	> 0,61

Pri slovenskih sortah hmelja, ki slovijo po svoji fini hmeljni ali dišavni aromi, je poleg padca alfa-kislin in spreminjanja HSI zelo pomembna obstojnost eteričnega olja. Zelo pomembna lastnost hmelja, ki je sestavni del njegove pivovarske vrednosti, je njegov vonj, ki je v bistvu hlapni del arome. Izvira iz eteričnega olja, ki ga sestavlja veliko število različnih spojin, katerih količine so odvisne od pedoklimatskih razmer in še posebej od genetike same rastline.

S časom se pri staranju hmelja zmanjšuje tudi količina eteričnega olja zaradi izhlapevanja, prav tako prihaja do oksidacijskih procesov. Zaradi pomanjkanja eksperimentalnih podatkov obstaja samo ocena, da je padec količine eteričnega olja neposredno povezan z izgubo alfa-kislin (Garetz, 1994). Pri staranju hmelja pa ni pomemben samo padec količine eteričnega olja, temveč tudi spreminjanje sestave in s tem posledično tudi pričakovane arome.

Spremljanje skladiščne obstojnosti je običajen parameter, ki ga v procesu žlahtnjenja določamo pri najbolj obetavnih križancih hmelja. V predstavljenem poskusu smo želeli določiti ne le padec alfa-kislin in povišanje HSI s staranjem hmelja, ampak smo v različnih razmerah skladiščenja spremljali tudi spremembe v količini in sestavi eteričnega olja, kar je pri dišavnih sortah bistveni dejavnik kakovosti hmelja.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 Material

V mesecu septembru 2014, takoj po obiranju hmelja, smo v določanje skladiščne obstojnosti vključili storžke novih sort Styrian Cardinal in Styrian Wolf ter sort v preizkušanju 105/220 in 102/44. Skladiščno obstojnost smo preverili po šestih mesecih staranja (marec 2015) pod različnimi razmerami skladiščenja: 20°C (sobna

temperatura) in 4 °C ter dveh različnih embalažah z različno dostopnostjo kisika (z in brez dostopnega kisika). Poskus je bil zasnovan dvofaktorsko s štirimi obravnavanji.

2.2 Metode

Vsi vzorci so bili obrani v času optimalne tehnološke zrelosti posamezne sorte hmelja (konec avgusta/začetek septembra) na poskusnih površinah Inštituta za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije v Žalcu.

Za določitev konduktometrične vrednosti hmelja (KVH-TE) smo uporabili metodo po Analytica-EBC 7.4 (Analytica-EBC, 2000). Vsebnost vlage smo določili po metodi Analytica-EBC 7.2 (Analytica, 1997) vsebnost in sestavo eteričnih olj smo določili z metodama Analytica-EBC 7.10 (Analytica, 2002) in 7.12 (Analytica, 2006), medtem ko smo indeks skladiščne obstojnosti izmerili po metodi Analytica-EBC 7.13 (Analytica, 2007). Vsi naštetih preskusi so bili opravljeni po protokolih originalnih zapisov.

Eteričnim oljem smo tako določili sestavo s plinsko kromatografijo in s tem ugotavljali ali med staranjem pride do bistvenih sprememb v sestavi olja zaradi oksidacijskih procesov ali izgub zaradi izhlapevanja.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

V preglednicah 2 do 5 podajamo vrednosti parametrov (vlaga, vsebnost alfa-kislin, indeks staranja hmelja (HSI) in količino ter sestavo eteričnega olja), ki smo jih izmerili ob začetku poskusa (po obiranju in sušenju vzorcev hmelja) in po šestih mesecih staranja.

Sorta Styrian Cardinal je v primerih skladiščenja na hladnem v odprti in zaprti embalaži in na toplem v zaprti embalaži pokazala zelo dobro skladiščno obstojnost, saj je vsebnost alfa-kislin padla samo za okoli 10 %. Vrednost indeksa staranja je bila v vseh treh primerih zelo nizka, še posebej v hladnih variantah poskusa in je v območju, kjer pivovarji ocenjujejo, da je to še vedno svež hmelj, brez posledic staranja. V varianti hranjenja na toplem v odprti embalaži je sorta pokazala dobro skladiščno obstojnost, s padcem alfa-kislin 26 % ter indeksom staranja 0,44. Obe vrednosti kažeta na to, da prisotnost kisika v tem primeru pospeši staranje in oksidacijo mehkih smol. Vrednost HSI je kljub temu še vedno v pričakovanem območju, ki pa odstopa od optimalne vrednosti. Podatki staranja kažejo na velike izgube eteričnega olja v staranih vzorcih, ki je še posebej izrazita v primeru skladiščenja pri temperaturah okolja.

Preglednica 2: Vsebnost alfa-kislin (KVH-TE), indeks staranja hmelja (HSI), količina in sestava eteričnega olja ter vlaga v vzorcih sorte hmelja Styrian Cardinal na začetku in koncu poskusa ocene skladiščne obstojnosti

Table 2: Alpha-acids content (LCV), hop storage index (HSI), content and composition of essential oil and moisture in hop variety Styrian Cardinal at the beginning and at the end of storage stability assessment experiment.

Styrian Cardinal					
Parameter	Začetek poskusa	Po 6 mesecih skladiščenja			
		4°C, zaprta embalaža	4°C, odprta embalaža	20°C, zaprta embalaža	20°C, odprta embalaža
Vlaga (%)	9,5	9,3	8,8	4,9	4,7
KVH-TE (suha snov) (%)	12,7	11,2	11,8	11,3	9,4
HSI	0,28	0,28	0,27	0,38	0,44
Količina olja (ml/100g)	2,03	1,61	1,38	0,99	0,83
Mircen (rel. %)	46,2	39,5	43,0	32,7	27,2
Linalol (rel. %)	0,8	0,9	0,8	1,1	1,0
β -kariofilen (rel. %)	9,9	10,5	10,3	10,2	9,1
α -humulen (rel. %)	18,0	20,3	19,6	21,4	19,9
Farnezen (rel. %)	6,0	5,6	5,8	4,3	3,7
Ostanek alfa-kislin (%)	-	88,2	92,9	89,0	74,0
Skladiščna obstojnost	-	Zelo dobra	Zelo dobra	Zelo dobra	Dobra

Sorta Styrian Wolf je v primerih skladiščenja na hladnem v odprti in zaprti embalaži in na toplem v zaprti embalaži pokazala zelo dobro skladiščno obstojnost. Vrednost indeksa staranja je bila v obeh hladnih variantah zelo nizka. Ob hranjenju na toplem v zaprti embalaži je sorta pokazala zelo dobro skladiščno obstojnost. Padec vsebnosti alfa-kislin je bil le 12 %, indeks staranja je bil ugoden - 0,40. Pri hranjenju pri temperaturi okolja v odprti embalaži pa je Styrian Wolf pokazal dobro skladiščno obstojnost s padcem alfa-kislin 24 % in indeksom staranja kar 0,59, ki je za pivovarje nesprejemljivo visok. Tudi pri tej sorti podatki staranja kažejo na velike izgube eteričnega olja v staranih vzorcih, ki je še posebej izrazita v primeru skladiščenja pri temperaturah okolja (več kot 60 %). Podatka o vrednosti HSI in izgubi olj opozarjata, da je potrebno to sorto skladiščiti pri nizkih temperaturah in v nepredušno zaprtih embalažah brez prisotnosti kisika.

Preglednica 3: Vsebnost alfa-kislin (KVH-TE), indeks staranja hmelja (HSI), količina in sestava eteričnega olja ter vlaga v vzorcih sorte hmelja Styrian Wolf na začetku in koncu poskusa ocene skladiščne obstojnosti

Table 3: Alpha-acids content (LCV), hop storage index (HSI), content and composition of essential oil and moisture in hop variety Styrian Wolf at the beginning and at the end of storage stability assessment experiment.

Styrian Wolf					
Parameter	Začetek poskusa	Po 6 mesecih skladiščenja			
		4°C, zaprta embalaža	4°C, odprta embalaža	20°C, zaprta embalaža	20°C, odprta embalaža
Vlaga (%)	8,8	9,0	8,8	4,6	4,5
KVH-TE (suha snov) (%)	12,9	12,6	12,2	11,3	9,8
HSI	0,29	0,30	0,34	0,40	0,59
Količina olja (ml/100g)	2,46	2,02	2,03	1,37	0,90
Mircen (rel. %)	63,8	61,5	58,2	50,0	30,3
Linalol (rel. %)	0,9	1,1	1,1	1,6	2,1
β -kariofilen (rel. %)	3,1	3,0	3,4	3,3	3,1
α -humulen (rel. %)	8,5	8,7	9,5	9,9	10,3
Farnezen (rel. %)	5,8	5,1	5,2	3,9	2,9
Ostanek alfa-kislin (%)	-	97,7	94,6	87,6	76,0
Skladiščna obstojnost	-	Zelo dobra	Zelo dobra	Zelo dobra	Dobra

Sorta v preizkušanju z oznako 105/220 je v primerih skladiščenja na hladnem v odprti in zaprti embalaži in na toplem v zaprti embalaži pokazala prav tako zelo dobro skladiščno obstojnost. Vrednost indeksa staranja je bila v vseh treh primerih zelo nizka, še posebej v hladnih variantah poskusa in je v območju, kjer pivovarji ocenjujejo, da je to še vedno svež hmelj, brez posledic staranja. V varianti hranjenja na toplem v odprti embalaži je sorta v preizkušanju izkazala dobro skladiščno obstojnost, s padcem alfa-kislin 21,5 % ter indeksom staranja 0,45. Obe vrednosti kažeta na to, da prisotnost kisika v tem primeru pospeši staranje in oksidacijo mehkih smol. Vrednost HSI je kljub temu še vedno v pričakovanem območju, ki pa pri nekaterih pivovarjih že lahko povzroča zaskrbljenost. Še posebej to velja za varianto skladiščenja pri temperaturi okolja v odprti embalaži. Tudi pri tem križancu podatki staranja kažejo na velike izgube eteričnega olja v staranih vzorcih, ki je še posebej izrazita v primeru skladiščenja pri temperaturah okolja (več kot 50 %). Za ta križanec se skladiščna varianta pri nizkih temperaturah in v evakuirani embalaži izkazuje kot metoda izbire, saj je pri teh pogojih zelo obstojen.

Preglednica 4: Vsebnost alfa-kislin (KVH-TE), indeks staranja hmelja (HSI), količina in sestava eteričnega olja ter vlaga v vzorcih sorte hmelja v preizkušanju 105/220 na začetku in koncu poskusa ocene skladiščne obstojnosti.

Table 4: Alpha-acids content (LCV), hop storage index (HSI), content and composition of essential oil and moisture in breeding line 105/220 at the beginning and at the end of storage stability assessment experiment

Sorta v preizkušanju 105/220					
Parameter	Začetek poskusa	Po 6 mesecih skladiščenja			
		4°C, zaprta embalaža	4°C, odprta embalaža	20°C, zaprta embalaža	20°C, odprta embalaža
Vlaga (%)	9,3	9,7	9,8	4,7	4,5
KVH-TE (suha snov) (%)	7,9	7,6	6,8	7,0	6,2
HSI	0,28	0,27	0,27	0,38	0,45
Količina olja (ml/100g)	1,52	1,27	1,26	0,82	0,72
Mircen (rel. %)	66,5	55,6	57,2	44,8	37,3
Linalol (rel. %)	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1
β -kariofilen (rel. %)	5,5	6,6	6,5	6,9	6,5
α -humulen (rel.%)	12,0	15,4	15,4	17,7	17,8
Farnezen (rel. %)	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
ostanek α -kislin (%)	-	96,2	86,1	88,6	78,5
Skladiščna obstojnost	-	Zelo dobra	Zelo dobra	Zelo dobra	Dobra

Sorta v preizkušanju 102/44 je v primerih skladiščenja na hladnem in toplem v odprti in zaprti embalaži pokazala dobro skladiščno obstojnost. Zaskrbljujoče je dejstvo, da je v vseh variantah skladiščenja bil padec alfa-kislin približno 25 %. Vrednost indeksa staranja je bila v obeh hladnih variantah zelo nizka (praktično je ostala na izhodiščnih vrednostih). V varianti hranjenja na toplem v odprti embalaži je sorta v preizkušanju pokazala prav tako dobro skladiščno obstojnost, s 25 % padcem alfa-kislin ter indeksom staranja 0,49. Pri tem križancu podatki kažejo na velike izgube eteričnega olja v staranih vzorcih, ki je še posebej izrazita v primeru skladiščenja pri temperaturah okolja (več kot 50 %). Vrednost HSI je kljub temu še vedno v pričakovanem območju, ki pa pri nekaterih pivovarjih že lahko povzroča zaskrbljenost. Iz podatkov je mogoče sklepati, da skladiščenje tega križanca zahteva brezpogojno uporabo evakuirane embalaže in skladiščenje pri nizkih temperaturah.

Preglednica 5: Vsebnost alfa-kislin (KVH-TE), indeks staranja hmelja (HSI), količina in sestava eteričnega olja ter vlaga v vzorcih križanca hmelja 102/44 na začetku in koncu poskusa ocene skladiščne obstojnosti

Table 5: Alpha-acids content (LCV), hop storage index (HSI), content and composition of essential oil and moisture in breeding line 102/44 at the beginning and at the end of storage stability assessment experiment.

Sorta v preizkušanju 102/44					
Parameter	Začetek poskusa	Po 6 mesecih skladiščenja			
		4°C, zaprta embalaža	4°C, odprta embalaža	20°C, zaprta embalaža	20°C, odprta embalaža
Vlaga (%)	9,5	10,0	9,5	4,7	4,6
KVH-TE (suha snov) (%)	8,0	6,0	6,3	6,1	6,0
HSI	0,29	0,28	0,31	0,43	0,49
Količina olja (ml/100g)	1,20	1,07	1,12	0,65	0,52
Mircen (rel. %)	64,7	61,3	63,6	44,4	44,2
Linalol (rel. %)	0,8	0,9	0,9	1,4	1,3
β-kariofilen (rel. %)	4,5	4,0	4,1	4,2	4,2
α-humulen (rel. %)	10,0	10,0	10,1	11,7	11,7
Farnezen (rel. %)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
ostanek α-kislin (%)	-	75,0	78,8	76,3	75,0
Skladiščna obstojnost	-	Dobra	Dobra	Dobra	Dobra

4 ZAKLJUČKI

V poskusu staranja hmelja posameznih sort oz. sort v preizkušanju smo proučili vpliv zraka (oksidacije) in temperature skladiščenja na kakovost dišavnih sort hmelja. Vzorce sort Styrian Cardinal in Styrian Wolf ter sort v preizkušanju 102/44 in 105/220 smo hranili pri 20 in 4 °C, v vakimirani embalaži, brez možnosti dostopa kisika in v navadnih papirnatih vrečkah. Na ta način smo pridobili celovit vpogled v njihovo skladiščno obstojnost v odvisnosti od kombinacij obeh pomembnih parametrov; kisika, ki povzroča oksidacijo in temperature, ki povzroča termični razpad. Polletna doba staranja v teh poskusih je primerna, saj je to doba, ko se po standardu določi skladiščna obstojnost hmelja (Mykuška in Krofta, 2012).

Po ugotovitvah poskusa je za spremembe posameznih spojin eteričnega olja tekom staranja, ki dajejo pivu tipičen okus in vonj, zlasti pomembno preprečiti dostop kisika, in ne samo znižati temperaturo okolja. Sorti Styrian Cardinal, Styrian Wolf ter sorta v preizkušanju 105/220 so se glede na padec alfa-kislin in dvig HSI izkazale za primerljive v vseh poskusih skladiščenja, saj so imele zelo dobro skladiščno obstojnost pri obeh variantah z nizko temperaturo in dobro v varianti pri

20 °C in odprti embalaži, medtem ko se je sorta v preizkušanju 102/44 izkazala za manj skladiščno obstojno, z zgolj dobro skladiščno obstojnostjo v vseh variantah.

Z ozirom na dejstvo, da je dodana vrednost dišavnih sort hmelja ravno v količini in sestavi eteričnega olja, katerega količina se je pri vseh sortah v poskusu v razmerah sobne temperature in dostopnosti kisika znižal po 6 mesecih za več kot 50 %, je potrebno biti zelo pozoren na način skladiščenja, ki mora biti obvezno pri nizkih temperaturah in predvsem v nepredušno zaprti embalaži z evakuiranim zrakom.

Zahvala. Za finančno podporo se zahvaljujemo financerjema ciljnega raziskovalnega projekta V4 - 1412, Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS ter Agenciji za raziskovalno dejavnost RS.

5 LITERATURA

- Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.2, Moisture content of hops and hop products, Carl, Getränke Fachverlag. 1997.
- Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.4, Lead conductance value of hops, powders and pellets, Carl, Getränke Fachverlag. 2000.
- Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.10, Hop oil content of hops and hop products, Carl, Getränke Fachverlag. 2002.
- Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.12, Hop essential oils by capillary gas chromatography flame ionization detection, Carl, Getränke Fachverlag. 2006.
- Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.13, Hop storage index of hops and hop pellets, Carl, Getränke Fachverlag. 2007.
- Foster A. The quality chain from hops to hop products. Proceedings of the Technical Commission IHGC of the 48th IHGC Congress. Canterbury. 2001.
- Garetz M. How to get and keep your hops optimum value. Brewing techniques, January/February 1994.
- Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists, 8th Edition, ASBC St. Paul, Minnesota, USA.
- Mikyška A., Krofta K. Assessment of changes in hop resins and polyphenols during long-term storage. Journal of the institute of brewing. 2012; 118 (3): 269 – 279.
- Nickers G.B., Menary R.C. Chemical evaluation of Hop Quality, Annual Report, Oregon State University, Agriculture Chemical Department. Corvallis. 1980.
- Srečec S., Rezič T., Šantek B., Marič V. Hop Pellets Type 90: Influence of manufacture and Storage on losses of Alpha-Acids. Acta Alimentaria. 2009; 38 (2): 141-147.
- Virant M., Majer D. Hop storage index – indicator of a brewing quality. Proceedings of the Technical Commission IHGC of the 49th IHGC Congress. Sofia, 2003.
- Zupanec J. The effect of process parameters during optimisation of drying and supercritical extraction on quality of hop extract. Doctoral thesis, University in Maribor, Technical Faculty Maribor. 1992.