

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

PRIMERJALNA ŠTUDIJA POSTOPKOV SUŠENJA HMELJA (*HUMULUS LUPULUS* L.): SLOVENIJA V PRIMERJAVI Z ZDRUŽENIMI DRŽAVAMI AMERIKE

Iztok Jože KOŠIR¹ in Thomas H. SHELLHAMMER²

Tipologija / Article type: Strokovni članek / Professional article

Prispelo / Arrived: 24. 10. 2025

Sprejeto / Accepted: 25. 11. 2025

Objavljeno / Published: December 2025

Izvleček

Sušenje hmelja po obiranju je zadnji, a ključni korak v pridelavi hmelja. Vpliva na vsebnost vlage, kemično sestavo (vsebnost alfa-kislin in eteričnega olja), stabilnost pri skladiščenju in na kakovost piva. V članku primerjamo tipične postopke sušenja, ki se uporabljajo v Sloveniji in Združenih državah Amerike, s poudarkom na izvedbenih rešitvah, integraciji sušenja v nadaljnje pakiranje/skladiščenje ter kakovostnih vidikih. Manjši slovenski hmeljarji poudarjajo nežno sušenje za ohranjanje arome, medtem ko velika ameriška podjetja poleg tega poudarjajo produktivnost, doslednost in integracijo s peletiranjem ter logistiko hladne verige. Na podlagi literature in prakse v industriji članek ponuja priporočila za optimalne protokole sušenja in predstavi točke, ki bi jih bilo mogoče izboljšati.

Ključne besede: hmelj, sušenje, kakovost, ZDA, Slovenija

COMPARATIVE STUDY OF HOP (*HUMULUS LUPULUS* L.) DRYING PROCEDURES: SLOVENIA VS. UNITED STATES

Abstract

The post-harvest drying (kilning) of hops is a critical process step in hop production, influencing moisture content, chemical composition (alpha-acids, essential oils), storage stability and ultimately beer quality. This paper compares the typical drying procedures employed in Slovenia and the United States, with an emphasis on process solutions and integration into packaging/storage together with quality considerations. The comparison highlights how smaller hop growers in Slovenia emphasise gentle drying for aroma preservation, while large-scale U.S. operations beside that emphasise throughput, consistency and integration with pelletising and cold-chain logistics. Based on literature and industry practice, the paper offers recommendations for optimal drying protocols and points that could be improved.

Key words: hops, kilning, product quality, USA, Slovenia

¹ Izr. prof. dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, e-pošta: iztok.kosir@ihps.si

² Prof. dr., Oregon State University (OSU), e-pošta: tom.shellhammer@oregonstate.edu

1 UVOD

Hmelj (*Humulus lupulus* L.) je ena ključnih surovin v pivovarstvu, saj prispeva k grenčici, aromi in mikrobiološki stabilnosti piva. Njegova vrednost na trgu ni odvisna zgolj od pridelka, temveč predvsem od kakovosti, ki jo določajo vsebnost alfa-kislin, eteričnih olj in polifenolov. Te snovi so občutljive na temperaturo, kisik in svetlobo, zato je sušenje hmelja eden najpomembnejših tehnoloških korakov po obiranju. Namen sušenja je zmanjšati vsebnost vlage s približno 75–80 %, kot jo ima svež hmelj, na 8–11 %, s čimer se prepreči mikrobiološka aktivnost, zmanjša masa za transport in omogoči stabilno skladiščenje ter nadaljnja obdelava (npr. stiskanje, peletiranje).

Tehnološki postopki sušenja so se v zadnjih desetletjih bistveno razvili, vendar ostajajo razlike med regijami zaradi različne velikosti kmetij, klimatskih razmer, sortne strukture in tržnih zahtev. V Sloveniji, kjer prevladujejo manjše kmetije s povprečno površino 14 ha (Barthhaas, 2023), je pridelava hmelja pogosto usmerjena v kakovost in aromo, kar pomeni poudarek na nižjih temperaturah in ohranjanju senzoričnih lastnosti. Nasprotno pa v Združenih državah Amerike – zlasti v zveznih državah Washington, Oregon in Idaho – obsežna hmeljarska posestva, pogosto večja od 160 ha, poleg skrbi za kvaliteto arome uporabljajo visoko zmogljive, avtomatizirane sušilne sisteme, prilagojene veliko večjim serijam in izvozni usmerjenosti.

Pomembna razlika med obema državama je tudi v organizaciji verige vrednosti. V ZDA obstaja močna integracija med pridelovalci, predelovalnimi obrati in pivovarskimi koncerni, kar omogoča centralizirano upravljanje kakovosti, optimizacijo energije in uvedbo digitalnih orodij za nadzor procesov. V Sloveniji je struktura hmeljišč bolj razpršena; manjši pridelovalci pogosto sodelujejo z lokalnimi zadrugami ali nastopajo sami, kar povečuje potrebo po tehnološki prilagodljivosti in upravljanju posameznih serij.

S stališča kmetijskega inženirstva je proces sušenja kompleksen sistem prenosov toplote in mase, kjer je potrebno uravnotežiti hitrost odstranjevanja vode ob hkratnem ohranjanju kemične stabilnosti in senzorične kakovosti. Ključni parametri so:

- temperatura zraka za sušenje,
- njegova vlažnost,
- pretok,
- višina nasipa hmelja in
- čas trajanja posameznih faz sušenja.

Ustrezna izbira teh parametrov bistveno vpliva na kakovost lupulina, barvo in aromatični profil končnega produkta.

Z vedno večjo pozornostjo do energetske učinkovitosti in trajnostne pridelave postaja sušenje tudi pomemben dejavnik v okoljskem smislu. Po ocenah Rybka in sod. (2017) proces sušenja predstavlja do 35 % celotne energetske porabe pri pridelavi hmelja, zato je prehod na energijsko učinkovite sušilnice z rekuperacijo toplote ali sistemi z digitalnim nadzorom parametrov ključnega pomena za zmanjšanje ogljičnega odtisa in dolgoročno konkurenčnost panoge.

Pri sušenju hmelja se izgubi precejšnja količina eteričnega olja, nekatere študije poročajo o izgubah od 10 % do več kot 60 %, odvisno od razmer pri sušenju in sorte hmelja (Rybka in sod., 2018). Zaradi visoke hlapnosti eteričnih olj, ki so odgovorna za aromo hmelja, lahko komponente intenzivneje izhlapevajo ali se razgradijo pod vplivom visokih temperatur in pretoka zraka v sušilnici.

Študiji iz let 2018 in 2021 (Rybka in sod., 2018; Rybka in sod., 2021) sta pokazali, da sušenje žateškega hmelja pri 55–60 °C povzroči 36-odstotno izgubo olja, medtem ko sušenje pri nižjih temperaturah (40 °C) izgubo zmanjša na 15–25 % (za žateški hmelj: ~33 % manjše izgube). Vendar se v tem primeru zelo podaljša čas sušenja (za 25–30 %). V primeru slovenskih sort smo, v okviru tehnoloških poskusov ugotavljanja optimalnih parametrov sušenja na IHPS pri sortah Styrian gold, Dana in Styrian Eureka, pridobili primerljive podatke. Ti podatki so izredno pomembni, saj je eterično olje aromatičnih sort njihova največja dodana vrednost.

V Sloveniji tako kot drugod v Evropi prevladujejo manjše kmetije, ki pridelujejo aromatične sorte hmelja, ki se pogosto dostavljajo kupcem v obliki storžkov, pakiranih v RB60 kocke. Približno 95 % pridelanega hmelja v Sloveniji se izvozi. V ZDA pa je hmeljarska proizvodnja močno usmerjena v velike integrirane sisteme s peletiranjem, vakuumskim pakiranjem in izvozom. Razumevanje razlik v tehnologiji sušenja med Slovenijo in ZDA ni pomembno le za primerjalno analizo, temveč tudi za razvoj prilagojenih pristopov optimizacije procesa, ki upoštevajo lokalne razmere, sortno sestavo in razpoložljive vire.

Cilj tega prispevka je primerjati postopke sušenja, tehnične parametre in tržne kontekste v obeh državah, analizirati njihove inženirske prednosti in slabosti ter opredeliti priložnosti za izboljšave v smeri večje učinkovitosti, kakovosti in trajnosti pridelave.

2 MATERIAL IN METODE

Primerjalna analiza postopkov sušenja hmelja v Sloveniji in ZDA je bila izvedena s kombinacijo pregleda strokovne literature, analize sekundarnih podatkov, terenskih informacij iz dostopnih poročil in tehničnih virov ter opazovanja procesov v praksi.

Podatki za Združene države Amerike temeljijo na poročilih United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service (USDA NASS, 2024) in panožnih združenj, predvsem Hop Growers of America (HGA, 2024) in poročilih International Hop Growers Convention (IHGC, 2024) ter poročilih BarthHaas Group (BarthHaas, 2023). Ti viri so zagotavljali podatke o povprečnih velikostih hmeljišč, pridelkih, tehnologijah sušenja in njihovi energetski učinkovitosti. Dodatno smo upoštevali rezultate študij s področja sušenja rastlinskih materialov (Rybka in sod., 2017, 2018 in 2021).

Podatki za Slovenijo izhajajo iz Statističnega urada Republike Slovenije (SURS, 2023), Inštituta za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS, 2025) ter tehničnih poročil in opisov delovanja sušilnic v Sloveniji Inštituta za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS, 2012). Poleg tega smo uporabili povzetke terenskih opažanj in praktičnih izkušenj hmeljarskih gospodarstev v letih 2020–2025 (ustni viri in neobjavljen arhiv oddelka za agrokemijo in pivovarstvo).

Analiza je vključevala primerjavo povprečne velikosti hmeljišč, pregled uporabljenih tipov sušilnic in tehnoloških parametrov, analizo procesnih kompromisov (temperatura–čas–kakovost), oceno energetske učinkovitosti in stopnje avtomatizacije, sintezo vpliva tržne usmerjenosti (lokalno tržišče nasproti izvoznemu) na tehnološke izbire.

Podatki so bili obdelani deskriptivno in interpretirani kvalitativno s ciljem osvetlitve inženirskih razlik in razvojnih usmeritev obeh regij.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Primerjava kaže, da so osnovni cilji sušenja hmelja – doseganje ustrezne vlažnosti, ohranjanje ključnih spojin v hmelju in zagotavljanje stabilnosti med skladiščenjem – univerzalni, vendar se načini izvedbe med državama bistveno razlikujejo.

3.1 Slovenija

V slovenski pridelavi hmelja poleg pridelovalcev hmeljarjev močno sodelujejo raziskovalne in svetovalne institucije, in sicer Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS) s sedežem v Žalcu ter svetovalna služba pri Kmetijsko gozdarski zbornici Slovenije, ki podpirata pridelovalce pri posredovanju informacij in svetovanju na področju pridelave.

V Sloveniji je veliko hmeljarskih kmetij majhnih do srednje velikih. Povprečna površina nasadov hmelja na hmeljarsko posestvo je 14 ha, s skupno površino nasadov hmelja 1716 ha v letu 2024 (Livk in sod, 2025; SURS, 2023; IHGC, 2024). Pogosto se osredotočajo na aromatične sorte (npr. Savinjski golding, Celeia, Aurora, Bobek). Večina hmelja se še vedno prodaja v obliki storžkov. Zaradi tega sta kvaliteta storžkov in njihov izgled še posebej pomembna. Sušenje poteka znotraj kmetije, kjer se hmelj pridelava. Tipičen postopek je obiranje hmelja na njivi v času tehnološke zrelosti, ko vsebuje 70–80 % vlage (svež hmelj), ki se pripelje neposredno s polja v obrat za obiranje (obiralni stroj) in sušenje. Temu sledi navlaževanje v navlaževalnih komorah in baliranje, običajno v RB60 vreče s 50 do 60 kg.

V Sloveniji uporabljamo večinoma trietažne sušilnice z zeleno, srednjo in spodnjo suho etažo, na katerih je višina nanosa povprečno med 25 in 40 cm. Približno na dve uri se hmelj spusti eno etažo nižje, s čimer se dosega izpovprečenost suhosti/vlažnosti po celotni višini nasipa. Pri temperaturah med 50 in 60 °C in primernem pretoku sušilnega zraka med 1100 in 1300 m³/m²h, odvisno od sorte, je pričakovani čas sušenja okoli 6 h. Raziskave porabe energije so pokazale, da je ta način sušenja, zaradi nizke produktivnosti, energetsko najbolj potraten (Rubottom in Shellhammer, 2023). Za 100 kg suhega hmelja je poraba goriva (ekivalent) povprečno 44 L, medtem ko je pri ameriškem načinu sušenja z višjim nasipom ta povprečno 29,4 L (Peacock in sod., 2018).

Svež hmelj vsebuje okoli 75 % vlage. Približno dve tretjini vode je v lističih (brakteje in brakteole), ostala pa je v vretencu. Med procesom sušenja je prenos vlage iz lističev v sušilni zrak sorazmerno hiter, v primeru vretenca pa je zaradi čvrstosti in pokritosti vretenca z lističi ta proces precej otežen. Po približno šestih urah, ko naj bi bil hmelj tehnično suh, vsebujejo lističi približno 5 % vlage, vretenca pa približno 14 %. Skupaj to pomeni hmelj s povprečno vsebnostjo vlage med 8 in 9 %. V Evropi in Sloveniji velja prepričanje, da je hmelj primerno posušen, ko je suho tudi vretenca storžka. Tako je pri povprečni vlažnosti 8 % po sušenju zunanji del storžka presuh in zato zelo drobljiv, storžki pa so odprti. Posledica tega je, da so lupulinska zrna, ki

vsebujejo hmeljne smole in eterično olje, izpostavljena zraku, kar pospešuje oksidacijo in izhlapevanje komponent olja in hmeljnih smol, poleg tega pa tudi fizično izgubo lupulina med transportiranjem na trakovih. Zaradi prenizke povprečne vlažnosti in posledične krhkosti storžkov je zato po sušenju nujno potreben dodaten ukrep – navlaževanje. To običajno poteka v navlaževalnih komorah, ki so lahko povsem manualne, v modernejših primerih pa so to tako imenovani »klima boksi«. Namen navlaževanja je povrniti storžku vlago do povprečne vrednosti med 10 in 11 % in mu s tem povrniti primerno elastičnost, da preprečimo drobljenje.

Glavni problem pri takšnem načinu je, da se sušenje v vsaj 30 % primerov (empiričen podatek na osnovi podatkov iz certificiranja pridelka hmelja, zdrobljenosti in razmerja med deli trte in listja ter odpada v reprezentativnih vzorcih za certificiranje) ne zaključi pri vlažnosti 8 %, temveč se nadaljuje do povprečne vlažnosti pod 7 %. Tako posušen hmelj pa izgubi sposobnost ponovne vezave vode in ostane krhek. Tudi če je povprečna vlažnost takega hmelja po končanem navlaževanju 10 %, so storžki še vedno drobljivi, saj je vlaga kondenzirana na zunanji strani storžka in ni absorbirana v samo tkivo, ker je to zaradi presušenosti izgubilo sposobnost ponovne vezave vode.

Iz energetskega vidika je način sušenja v Sloveniji precej potraten, saj v prvi fazi sušenja hmelj presušimo na stopnjo vlažnosti pod priporočenim deležem vlage (okoli 8 % ali celo nižje), čemur sledi navlaževanje v komorah, ki tudi zahteva določeno energijo in čas ter človeško delovno silo. Poleg omenjenega pa predvsem zadostne kapacitete navlaževalnih komor, vključno z vso pripadajočo instrumentalno opremo, kar predstavlja velik finančni vložek v infrastrukturo, ki je letno uporabljena zelo kratek čas, samo v času obiranja. Izven teh terminov je praktično neuporabna za druge namene.

3.2 ZDA

Velikost hmeljišč v Združenih državah Amerike se močno razlikuje glede na regijo, proizvodno usmeritev in stopnjo mehanizacije. Glavnina komercialne pridelave hmelja je skoncentrirana na pacifiškem severozahodu (Pacific Northwest, PNW) – predvsem v zveznih državah Washington, Oregon in Idaho – ki skupaj predstavljajo okoli 98 % vseh ameriških površin s hmeljem. Po podatkih industrijskih poročil (BarthHaas, 2023) znaša povprečna velikost hmeljišča na pacifiškem severozahodu približno 350 hektarjev ($\approx$ 870 juter).

Skupna površina hmeljišč v ZDA v letu 2024 je bila približno 18.140 ha (IHGC, 2024; HGA, 2024; USDA NASS, 2024), skoraj v celoti v regiji PNW. Visoka stopnja mehanizacije in koncentracija proizvodnje v tej regiji pojasnjujeta precej večjo povprečno velikost hmeljišč v primerjavi z novimi pridelovalnimi območji drugod po državi. Pridelavo v tej regiji obvladujejo večja in visoko specializirana kmetijska posestva.

Zunaj območja PNW so hmeljišča bistveno manjša. Novi in razpršeni pridelovalci hmelja na srednjem zahodu, na severovzhodu in jugovzhodu države običajno obdelujejo površine, manjše od 10 hektarjev, le redke večje kmetije pa dosegajo velikosti med 100 in 150 hektarji hmeljišč (BarthHaas, 2023). Takšne manjše in srednje velike kmetije so večinoma usmerjene v dobavo lokalnim malim pivovarnam ter v pridelavo posebnih sort hmelja, namenjenih nišnim trgom. V ZDA, zlasti v PNW, se hmelj obira in predeluje v veliko večjem obsegu kot v Sloveniji.

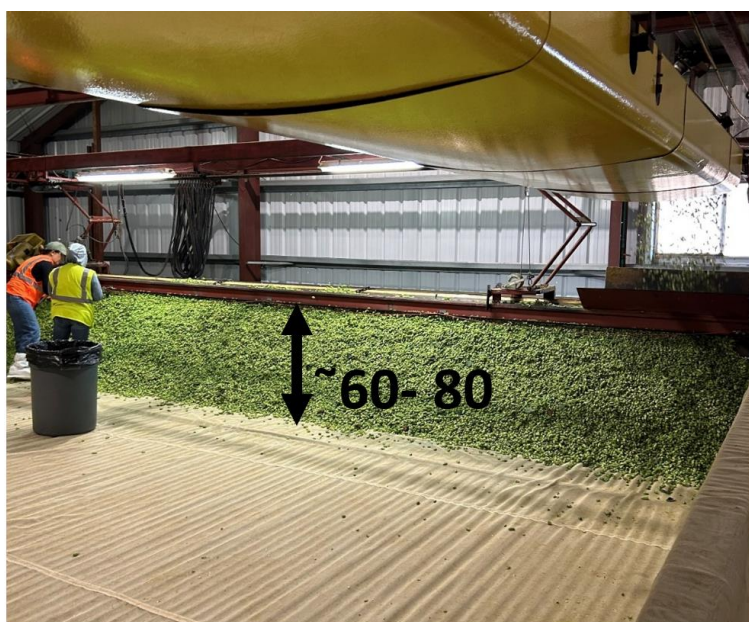
Raziskave sušenja ameriških sort (Amarillo®, Simcoe®) so pokazale, da je sušenje v širokem temperaturnem območju (49–82 °C v pilotnem merilu, 49–71 °C v komercialnem merilu), ob primernem pretoku sušilnega zraka, povzročilo le majhne razlike v kemiji hmelja in senzorični kakovosti, kar omogoča fleksibilnost pri temperaturi sušenja za visokozmogljive operacije (Rubottom in sod., 2022). Tipične temperature v praksi so med 51–57 °C za aromatične in med 54–63 °C za grenične sorte. Čas sušenja je 5–14 ur, odvisno od sorte, temperature, višine nasipa in pretoka zraka.

Raziskava Rubottom (Rubottom in sod., 2022) je eksperimentalno potrdila, da temperature nad 60 °C povzročijo opazno izgubo monoterpenov in spremembo oksidacijskega profila smol, medtem ko sušenje pri 50–55 °C ohranja ravnotežje med učinkovitostjo in kakovostjo. Te ugotovitve se ujemajo tudi s slovenskimi izkušnjami, kjer pridelovalci zaznavajo optimalno razmerje med ohranitvijo arome in trajanjem procesa pri podobnih temperaturah. Tehnološki poskusi optimiranja temperature sušenja, pri istih pretokih zraka, so na primeru sorte Styrian Eureka, ob uporabljenih temperaturah 55 in 60 °C pokazali 8 % višje izgube eteričnih olj pri 60 kot pri 55 °C. Vsebnost alfa-kislin je bila v obeh primerih primerljiva. V primeru sorte Styrian gold so poskusi pri enakih temperaturah pokazali 6 % razliko v izgubi eteričnih olj in kar 18,9 % višjo izgubo alfa-kislin pri uporabljeni temperaturi 60 °C. Čas sušenja pri 55 °C je bil v obeh primerih 6 ur, medtem ko je bil čas sušenja pri 60 °C 4,5 ure (neobjavljeni rezultati). Končna vsebnost vlage je bila v vseh primerih primerljiva okoli 8 %.

V ameriških operacijah sta hitrost in produktivnost ključnega pomena, zato hmelj običajno prispe v sušilnice v kratkem času po obiranju. Oprema vključuje velike sušilnice (tipično 9,3 x 9,3 m) z višjim nasipom (60–80

cm, 76 cm je standard) (slika 1) (Rubottom in Shellhammer, 2023), ki so v nadaljevanju pogosto integrirane s peletiranjem, primernim pakiranjem in skladiščenjem v hladilnicah (0–2 °C), tako da je zagotovljena celotna hladna veriga od pridelovalca do potrošnika. Vendar se je potrebno zavedati, da višina nasipa vpliva na končno izgubo eteričnih olj, predvsem njihovih lahko hlapnih komponent, kot je mircen, kar so potrdili v tej raziskavi Raut in sod. na primeru sorte Hallertauer Tradition. Zato je potrebno poiskati optimalne razmere za vsako posamezno sorto (Raut in sod., 2020).

Ključna razlika pri sušenju je spremljanje vlage oziroma določitev konca sušenja. Določanje vlažnosti je izvedeno preko vgrajenih senzorjev za merjenje vlage in temperature (slika 2) in dodatno s premičnimi merilci vlage. Zanimivo je tudi spremljanje in določanje pretoka zraka in temperature preko spremljanja nasipne mase hmelja na dnu sušilnice. V tem primeru je v dno sušilnice vgrajena tehtnica, velikosti približno 1 m x 1 m (slika 3). Ob predhodnem podatku o vsebnosti vlage v svežem hmelju in nasipni masi svežega hmelja se določi tarčna, končna nasipna masa ob predpostavki povprečne končne vsebnosti vlage 10 %. Na ta način določena vlažnost tako ni toliko odvisna od relativno problematičnega merjenja vlage z različnimi sondami, ki je odvisno tudi od vsebnosti lupulina (sortna značilnost) in nasipne gostote, temveč od zanesljivosti tehtanja. V vsakem primeru je pred samim zaključkom sušenja potrebna potrditev pravilnosti dosežene vlažnosti z ustreznim merilcem vlage, ki je sposoben podati verodostojne rezultate v realnem času. Za pridobitev in uravnavanje ustreznih procesnih parametrov je potrebna digitalna povezava vseh merjenih parametrov in ustrezna programska oprema, ki omogočata sprotno izračunavanje in spreminjanje temperature in pretoka zraka za doseganje željenega poteka sušenja.



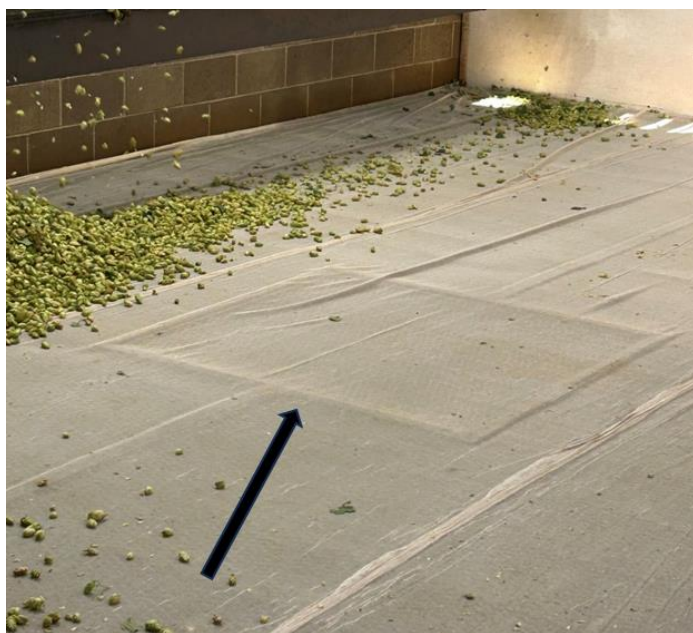
Slika 1: Višina nasipa svežega hmelja na sušilnici (Foto: I. J. Košir)



Slika 2: Merilne sonde za merjenje vlage v hmelju in temperature sušenja (Foto: I. J. Košir)

Bistvena razlika pri procesu sušenja je, da se hmelj na ta način posuši na ciljano povprečno vlažnost približno 10 %, s čimer se izognejo presušenosti in posledično drobljivosti storžkov. Maksimalno je zmanjšana odprtost storžkov in s tem je manjše tveganje za fizično izgubo lupulina med transportiranjem ter izpostavljenost lupulina zraku in s tem oksidacijske procese ter izhlapevanje komponent eteričnega olja.

Hmelj se po fazi sušenja odloži v kupe za približno 24 ur, da se izpovpreči vlaga v šarži. Po tej fazi se hmelj balira v kocke 200 funtov (≈90 kg) pod znatno višjim tlakom kot v Evropi. Zaradi sušenja na končno vlažnost 10 % v drugem koraku ni potrebna faza navlaževanja. Na ta način tudi ni potrebe po inštalaciji navlaževalnih komor in spremljajoče opreme za izvedbo navlaževanja. Po baliranju je običajno hmelj takoj transportiran v hladilnico in s tem v začetek hladne verige. Peletiranje oziroma nadaljnja predelava se izvede v čim krajšem času po obiranju, s čemer se zagotovi maksimalno ohranjanje kakovosti.



Slika 3: Merilno mesto na dnu sušilnice, preko katerega je možno spremljanje pretoka zraka, v odvisnosti od suhosti hmelja (Foto: I. J. Košir)

4 ZAKLJUČKI

Primerjalna analiza postopkov sušenja hmelja v Sloveniji in Združenih državah Amerike potrjuje, da se kljub enakim ciljem – doseči primerno končno vlažnost in ohraniti kakovostne aromatične ter grenčične spojine – tehnološke prakse pomembno razlikujejo zaradi različnih pridelovalnih razmer, obsega pridelave in tržnih usmeritev.

Slovenski sistem temelji na majhnih, specializiranih hmeljarskih kmetijah, kjer se ohranja tradicionalno sušenje v tanjših slojih na večetažnih sušilnicah in pri nižjih temperaturah (50–60 °C). Tak pristop omogoča ohranjanje eteričnih olj in senzorične kompleksnosti, kar je bistveno za kakovost aromatičnih sort. Po drugi strani ameriški pridelovalci uporabljajo sodobne, globokoslojne sušilnice (deep bed dryers) z večstopenjskim nadzorom primerljivih temperatur in vlage ter avtomatiziranimi procesi, ki ravno tako zagotavljajo kakovost arome, poleg tega pa omogočajo visoko pretočnost, standardizacijo postopkov ter manjšo variabilnost med serijami.

Za sorte, občutljive na izgubo arome, je v Sloveniji potrebno razmisliti o nižjih temperaturah sušenja (pod 50 °C) in podaljšanju časa sušenja s ciljem maksimalne ohranitve kompleksne sestave eteričnih olj, ki predstavljajo dodano vrednost aromatičnih sort hmelja.

Napredne senzorske tehnologije, kot sta hiperspektralno slikanje in termografija, omogočajo spremljanje vlage in kemijskih sprememb v realnem času. V praksi se njihova uporaba šele uveljavlja, vendar napoveduje prihod digitalno podprtih, pametnih sušilnic z avtomatsko regulacijo pretoka sušilnega zraka in temperature. V prihodnje lahko pričakujemo spremljanje procesa preko temperature, pretoka zraka, vlažnosti in kinetike odstranjevanja vlage v realnem času, namesto zgolj fiksnih nastavitev sušilnic na »pravilo palca«.

V vsakem primeru se je potrebno izogibati prekomernemu sušenju (na manj kot 8 % vlage), ki lahko povzroči krhkost storžev in kemijsko ter fizično izgubo lupulina oziroma aktivnih snovi v njem.

Energetska analiza kaže, da so slovenski sistemi sicer energetske bolj zahtevni, izkazujejo pa večjo trajnostno fleksibilnost, saj pogosto uporabljajo obnovljive vire toplote (biomasa), medtem ko ameriški sistemi izstopajo po učinkovitosti izrabe energije in možnosti rekuperacije toplote.

Tako Slovenija kot ZDA kažeta, da je prihodnost hmeljarstva odvisna od optimalnega razmerja med tehnološko učinkovitostjo, ohranitvijo kakovosti storžkov in trajnostno rabo energije.

Sklepno lahko povzamemo, da bo prihodnji razvoj tehnologije sušenja hmelja temeljil na integraciji senzorjev za nadzor vlage, pretoka zraka in temperature v realnem času, avtomatiziranih algoritmičnih sušenja, prilagojenih posameznim sortam in namenu uporabe hmelja, analizi življenjskega cikla infrastrukture za zmanjšanje ogljičnega odtisa in povezovanju postopkov sušenja, peletiranja, pakiranja in skladiščenja v energetske optimizirane verige.

Zahvala

Primerjalna študija je bila izvedena v okviru štipendije Bureau of Educational and Cultural Affairs, United States Department of State in Institute of International Education, program Fulbright, št. PS00383572.

Dostopnost raziskovalnih podatkov

Podatki so na voljo pri prvem avtorju na utemeljeno zahtevo.

5 VIRI

- Annual Statistical Report on Hop Acreage and Production, V 2024 Hop Industry Annual Report, Hop Growers of America (HGA), Yakima, WA, 2024, str. 5.
- BarthHaas Report 2022/23 General, Urednik: Heinrich Meier Georgensgmuend, BarthHaas GmbH & Co. KG, Nuremberg, 2023, str. 19-24.
- Ferant, N., Košir, I.J., Sušenje hmelja, V Hmelj od sadike do storžkov, Urednica: Čeh B., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Žalec, 2012, str. 113-121, ISBN:978-961-93322-0-7.
- IHGC - Economic Commission Summary Reports, IHGC, 2024, Nuremberg.
- Kmetijska rastlinska pridelava, Površine poljščin, V Statistični pregled leta 2023, Statistični urad Republike Slovenije (SURS), 2023, Ljubljana, str. 20.
- Livk, J., Košir, I.J.K., Trošt, Ž., Strokovna naloga ocena letnika hmelja, Javna služba v hmeljarstvu, Končno poročilo, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Žalec, 2025, str.7.
- National Hop Report, United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service (USDA NASS), 2024, Washington, D.C., ISSN:2158-7825.
- Peacock, V., Arendt, B., Thiel, R., Gura, M., Chadwick, L., A comparison of hop drying with unheated, dehumidified air versus traditional drying with heated air, Master Brewers Association of the Americas TQ, 2018, 55, str. 63-66, doi: 10.1094/TQ-55-3-1108-01
- Raut, S., von Gersdorff, G.J.E., Münsterer, J., Kammhuber, K., Hensel, O. & Sturm, B., Impact of Process Parameters and Bulk Properties on Quality of Dried Hops, Processes, 2020, 11(8), str.1507, doi:10.3390/pr8111507
- Rubottom, L.N., Lafontaine, S.R., Shellhammer, T.H., Evaluating the impact of kilning temperature on hop quality in American deep bed dryers, BrewingScience, 2022, 75(11/12), str. 98-108, doi:10.23763/BrSc22-15rubottom
- Rubottom, L.N., Shellhammer, T.H., A review of hop drying technologies and room for improvement, Master Brewers Association of the Americas TQ, 2023, 60, str. 52-56, doi: 10.1094/TQ-60-3-0621-01
- Rybka, A., Heřmánek, P., Honzík, I., Krofta, K., Parameters of the drying medium and dried hops in belt dryer, Research in Agricultural Engineering, 2017, 63(10), str. S24-S32, doi:10.17221/35/2017-RAE
- Rybka, A., Heřmánek, P., Honzík, I., Krofta, K., Effect of drying temperature on the content and composition of hop oils, Plant Soil Environ., 2018, 64(10), str. 512-516, doi:10.17221/482/2018-PSE
- Rybka, A., Heřmánek, P., Honzík, I., Effect of drying temperature in hop dryer on hop quality, Research in Agricultural Engineering, 2021, 67(1), str. 1-7, doi:10.17221/61/2020-RAE