

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

VPLIV TEHNOLOŠKIH POSTOPKOV NA USPEŠNOST KOMPOSTIRANJA HMELJEVINE

Barbara ČEH¹ in Ana KARNIČNIK KLANČNIK²

Tipologija / Article type: Strokovni članek / Professional article

Prispelo / Arrived: 22. 10. 2025

Sprejeto / Accepted: 2. 12. 2025

Objavljeno / Published: December 2025

Izvleček

V prispevku predstavljamo rezultate kompostiranja hmeljevine (listi in stebela hmelja, ki ostanejo po obiranju storžkov) na šestih hmeljarskih kmetijah. Kompostne kupe so postavili po obiranju hmelja (začetek septembra) v letih 2023 (štiri kmetije) in 2024 (šest kmetij). Kompostiranje naj bi potekalo po smernicah za kompostiranje hmeljevine, a so imeli na kmetijah med izvajanjem postopka različne težave. Le-te smo popisali in ocenili njihov vpliv na kakovost pridelanega komposta. Kompost smo vzorčili v aprilu v letih 2024 in 2025 in ugotovili, da je imel v vseh primerih temperaturo na nivoju okoliške in bil prijetnega vonja po zemlji. Največji negativen vpliv je imelo nezadostno mešanje – v primeru, ko je bil kup jeseni premešan le dvakrat, ni bila dosežena temperatura za higienizacijo (55 °C), material je bil slabo razgrajen, vsebnost hranil v kompostu je bila srednja, razmerje C:N pa neugodno. In le na teh vzorcih je bioindikatorski test kalivosti semen kitajskega kapusa pokazal možno fitotoksičnost komposta. Slabši rezultat je bil tudi v primeru, ko je bila za postavitev kupa uporabljena premajhna gnota biomase (le 7 ton) in je bila le-ta hkrati nekoliko presuha, ter v primeru, ko so kup prekrili s polprepustno ponjavo šele v sredini decembra namesto v novembru. Mešanje kupa v času dežja v primeru presuhe biomase jeseni je pozitivno vplivalo na parametre kakovosti komposta. Kompost z najboljšimi parametri je nastal v primeru, ko so izvajali kompostiranje dosledno po smernicah - pri rednem mešanju glede na meritve temperature, uporabljeni dovolj veliki gnoti hmeljevine (15 ton) in pravočasnem pokrivanju kupov. V tem primeru je bil test kalivosti 94 % (odličen kompost, ki vzpodbuja kalitev).

Ključne besede: hmeljevina, hmelj, *Humulus lupulus* L., kompost, organsko gnojilo

IMPACT OF THE IMPLEMENTATION ON SUCCESS OF HOP BIOMASS COMPOSTING ON FARMS

Abstract

This paper presents the results of composting hop waste biomass (leaves and stems remaining after cone harvesting) on six hop farms. Compost piles were established right after harvest (early September) in 2023 (at four farms) and 2024 (at six farms). Although composting was intended to follow the established guidelines for waste hop biomass composting, farmers encountered various difficulties during the process. These issues were documented and their impact on the quality of the final compost was assessed. Compost samples were collected in April 2024 and 2025. In all cases, the compost temperature matched the ambient temperature and had a pleasant earthy smell. The most severe negative impact was caused by insufficient turning—specifically, when the pile was turned only twice in autumn. This compost did not reach the sanitisation temperature (55 °C), showed poor biomass decomposition, had moderate nutrient content, an unfavourable C:N ratio, and the germination test with Chinese cabbage indicated potential phytotoxicity. Other suboptimal results were observed when the initial biomass amount was too small (only 7 t), when the biomass was too dry and not moistened, and when the pile was covered with a semi-permeable membrane only in mid-December instead of in November. Conversely, turning the pile during rainfall proved beneficial in cases of overly dry biomass. The highest-quality compost was obtained when farmer followed the guidelines consistently—regular turning based on temperature measurements, using a sufficiently large amount of biomass (15 t), and timely covering of the pile. In this case, the germination test reached 94%, indicating excellent compost that promotes seed germination.

Key words: hop waste biomass, hop, *Humulus lupulus* L., compost, organic fertilizer

¹ Dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS), e-pošta: barbara.keh@ihps.si

² Mag. biotehnol., IHPS, e-pošta: ana.karnicnik@ihps.si

1 UVOD

Proces kompostiranja je nadzorovana aerobna biološka razgradnja organske snovi, pri čemer nastane stabilna, humusu podobna snov, imenovana kompost. Ta metoda posnema naravno razgradnjo, vendar je leta okrepljena, pospešena in nadzorovana, da se čim bolj spodbuja razvoj mikroorganizmov (USDA 1999). S tem pristopom k ravnanju z rastlinskimi odpadki pretvarjamo rastlinske odpadke v dragoceno, reciklirano organsko gnojilo iz higienizirane in stabilizirane organske snovi. Pri pravilnem postopku kompostiranja se uničijo semena plevelov in morebitni prisotni patogeni (Pan in sod., 2023). S kompostom se vnaša v tla organska snov in hranila, s čimer se povečuje rodovitnost tal, izboljšajo se aktivnosti in s tem funkcije talnega mikrobioma (Jahangir in sod., 2021).

V preteklih letih smo na področju kompostiranja hmeljevine, ki se izvaja na kmetijah, izvedli vrsto poskusov in na tej podlagi napisali Smernice za ravnanje s hmeljevino in njeno predelavo v kompost na kmetijskem gospodarstvu, ki se ukvarja s hmeljarstvom (Čeh in sod., 2022) ter pridobili podatke o kakovostnih parametrih komposta, ki se lahko pridelajo na kmetijah pri skrbni izvedbi postopka (Čeh in sod., 2025).

V tem prispevku predstavljamo rezultate kompostiranja hmeljevine na šestih hmeljarskih kmetijskih gospodarstvih, ki začenejo s kompostiranjem na svojih kmetijah.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 Postavitev poskusov

Poskus smo izvedli na šestih hmeljarskih kmetijah v Spodnji Savinjski dolini in na Koroškem (na štirih v sezoni kompostiranja hmeljevine 2023/2024 in na dodatnih dveh v sezoni 2024/2025). Hmeljevina se praviloma začne kompostirati takoj po obiranju (konec avgusta do sredina septembra, odvisno od časa obiranja glede na sorto hmelja) in po šestih do sedmih mesecih dobimo zrel in stabilen kompost (Čeh in sod., 2025).

Po obiranju hmelja septembra 2023 in 2024 smo iz hmeljevine (stebela in listi) s približno enega hektarja (to je okrog 15 t hmeljevine, z dvema izjemama (preglednica 1) na vsaki kmetiji naredili kompostne kupe trapezoidne oblike, visoke 2 m. Obravnavanja so se razlikovala glede na začetno velikost delcev, saj obiralni stroji režejo stebela na različno dolžino, odvisno od tipa stroja, ter glede na to, ali obiralni stroj meče na kup istočasno trto in liste ali ločeno, zaradi česar je bilo treba material pred kompostiranjem pomešati.

V jeseni 2024 je bila hmeljevina nekoliko presuha. Na eni lokaciji (KG Z 2024) se je navlažila z enkratnim mešanjem v času deževja.

Za merjenje temperature na globinah 50 in 100 cm na vseh štirih straneh kupa smo uporabili prilagojeno sondo TFA® digitalnega vbodnega termometra. Kupi bi morali biti premešani takrat, ko je sredica kupa presegla 60 °C, vendar se to na vseh kmetijah, zaradi težav pri določanju pravega termina za mešanje ali v enem primeru okvare traktorja, ni vedno dosledno izvajalo (preglednica 1).

Ob koncu termofilne faze, ko so temperature v kupu padle pod 45 °C, kar je bilo v preučevanih sezonah v drugi polovici novembra, smo z obračanjem kupov zaključili in kupe do spomladi prekrili s polprepustno ponjavo TenCate Toptex. To je zračno prepustna, kemijsko obstojna tkanina, izdelana iz neprekinjenih 100 % polipropilenskih vlaken.

Septembra 2024 smo na eni lokaciji stekali začetno maso hmeljevine in v začetku maja 2025 stekali iz nje nastali kompost, da smo pridobili podatek o količini komposta (organskega gnojila), ki se pridelajo iz določene količine hmeljevine.

2.2 Vzorčenje in analiza komposta

V aprilu 2024 in 2025 smo izvedli vzorčenje nastalega komposta. Najprej smo naredili vizualno oceno, ki je vključevala oceno barve, vonja, strukture, prisotnosti nerazgrajenih delcev in prisotnosti neželenih primesi. Vsebnost vlage smo določili s stiskanjem komposta v roki (Cornell Waste Management Institute, 1996). Primeren kompost mora biti vlažen, a ne moker; ko ga stisnemo v pesti, se ne sme drobiti (presuh) oziroma iz njega se ne sme pocediti voda (premoker).

Potem smo iz vsakega kupa odvzeli tri vzorce za kemijsko analizo, pri čemer je bil vsak vzorec komposta odvzet z roko na 12 različnih točkah iz globine 30–50 cm.

V svežih vzorcih smo analizirali pH in amonijski dušik ($\text{NH}_4\text{-N}$; SIST ISO 14255:1999), medtem ko smo v posušenih vzorcih analizirali vsebnost organskega ogljika in humusa (metoda SIST ISO 14235:1999), nitratnega dušika ($\text{NO}_3\text{-N}$; SIST ISO 14255:1999), skupnega dušika (SIST ISO 11261:1996), fosforja (SIST ISO 6491:1999, prirejeno), kalija (SIST EN ISO 6869:2001, prirejeno) ter železa in cinka (sežig in meritev na

atomske absorpcijske spektrometre; Hodnik, 1998). Vsebnost vlage je bila določena po najmanj 24-ih urah sušenja pri 60 °C - ko je bila dosežena konstantna masa vzorca.

Za oceno primernosti komposta smo uporabili tudi bioindikatorski test kalivosti s hitro kaljivim semenom kitajskega kapusa (Yuan in sod., 2018). Aprila 2025 smo dali kompost z vsake lokacije v tri vrtnarske lončke. V vsak lonček smo posejali po pet semen kitajskega kapusa in po 14 dneh prešteli vznikle rastlinice.

Rezultate smo obdelali v programih Excel in Statgraphics Plus, za zaznavanje razlik med obravnavanji smo uporabili Duncanov test ($p=0,05$).

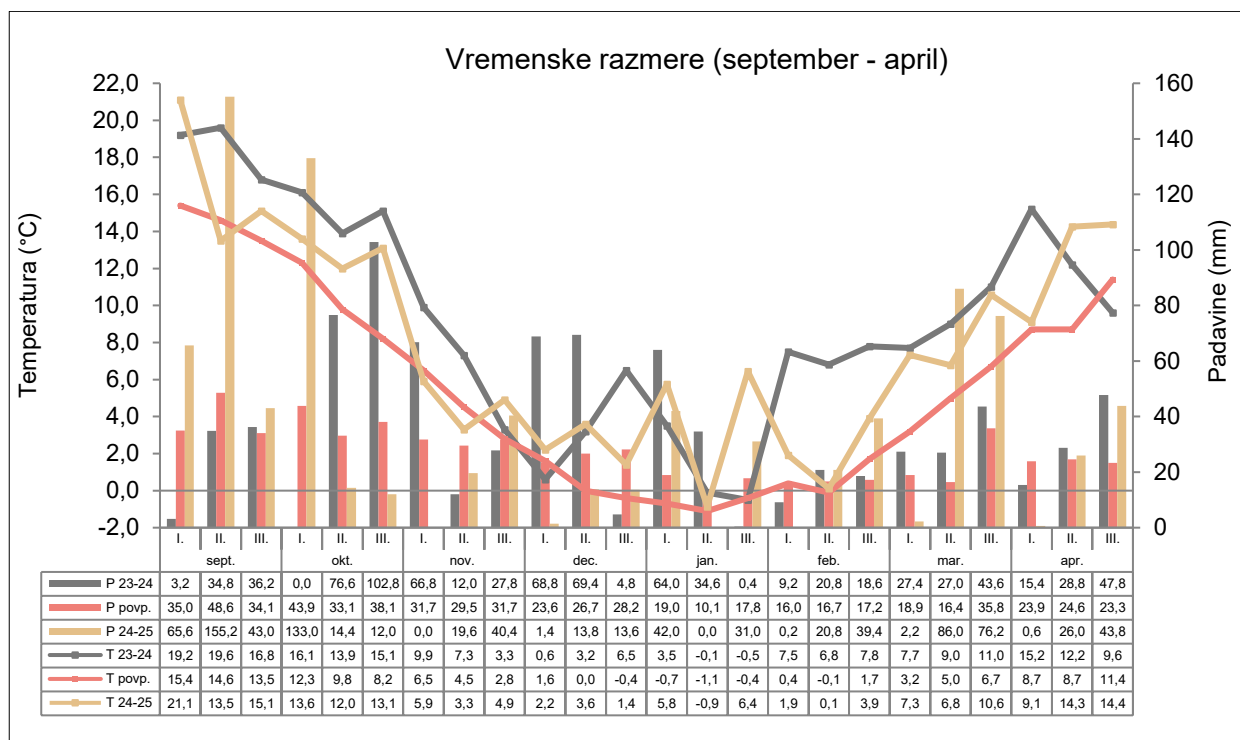
Preglednica 1: Podatki po poskusnih lokacijah; odebeljeno so označene napake v postopku

KG in leto vzorčenja	Masa hmeljevine (t sveže snovi)	Listi in stebela pomešani že na obiralnem stroju	Velikost delcev (cm)	Vodilo za oporo na njivi	Št. mešanj	Dosežena temperatura za higienizacijo	Datum pokrivanja kupa	Pokrito od nov. do apr.
KG Z 2024	15	da	5–50	PP	6	da	28. 11. 2023	da
KG O 2024	15	ne	10-15	žica	4	da	28. 11. 2023	da
KG S 2024	15	ne	5-10	žica	6	da	28. 11. 2023	da
KG I 2024	7	ne	4-5	PLA	3	ne	28. 11. 2023	da
KG Z 2025	15	da	5-50	PLA	2	ne	Zadnji teden nov.	Le od nov. do jan.
KG O 2025	15	ne	10-15	žica	4	da	Zadnji teden nov.	da
KG S 2025	15	ne	5-10	PLA	4	da	Sredina dec.	Le od dec. do apr.
KG I 2025	7,5	ne	4-5	PLA	8	da	Zadnji teden nov.	da
KG N 2025	15	da	2,5-5	PLA	5	da	Zadnji teden nov.	da
KG K 2025	15	da	2,5-5	PP + žica	9	da	Zadnji teden nov.	Le od nov. do jan.

2.3 Vremenske razmere v času kompostiranja 2023/2024 in 2024/2025

Povprečna temperatura septembra 2023 je bila za 3,0 °C višja od dolgoletnega povprečja, kar ga uvršča med enega najtoplejših od leta 1950. Oktobra je bila povprečna dnevna temperatura 15 °C (za 4,9 °C več kot je dolgoletno povprečje). Morebiti je to vplivalo tudi na to, da je bila hmeljevina jeseni 2023 nekoliko presuha za kompostiranje. V obdobju oktober – december 2023 je bilo 429 mm padavin (143 mm več kot je dolgoletno povprečje), od tega v oktobru 179 mm. Zima 2024 je bila nadpovprečno topla. Bila sta samo dva ledena dneva v januarju, ko se je maksimalna dnevna temperatura spustila pod ledišče; mrzli dnevi, ko se minimalna temperatura spusti pod -10 °C, pa so bili le štirje. Tudi april in maj 2024 sta bila toplejša od dolgoletnega povprečja; april za 2,7 °C in maj za 1,4 °C (Agrometeorološki ..., 2024).

Padavine v septembru 2024, v času, ko kupi še niso bili pokriti, so bile zelo obilne, padlo je kar 264 mm dežja. V oktobru in decembru je bila povprečna temperatura zraka nad dolgoletnim povprečjem, v novembru na nivoju dolgoletnega povprečja. Največ dežja je padlo v oktobru (159 mm), v zadnjih dveh mesecih leta pa smo zabeležili malo padavin; novembra 60 mm in decembra 29 mm. Januar in februar 2025 sta bila nadpovprečno topla; v prvi in tretji dekadli januarja je bila povprečna temperatura kar za 6,5 in 6,8 °C višja od dolgoletnega povprečja. V prvih treh mesecih leta 2025 je bilo več padavin kot v dolgoletnem povprečju, sploh v marcu (Agrometeorološki ..., 2025), kar pa naj ne bi vplivalo na postopek kompostiranja v pokritih kupih, morebiti pa bi bil lahko negativen vpliv le-teh na izpiranje hranil iz kupov, ki jih je januarja odkril veter.



Slika 1: Primerjava desetdnevni povprečnih temperatur (T) in količine padavin (P) v letih 2023/2024 in 2024/2025 od septembra do aprila s 30. letnim povprečjem (1981–2010) na postaji Medlog pri Celju (vir podatkov: ARSO) z referenčno postajo Spodnje Savinjske doline (Latkova vas)

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Vizualna ocena komposta

V preglednici 2 so navedeni rezultati vizualne ocene komposta glede na preučevano leto in kmetijsko gospodarstvo (KG).

Dober kompost ima prijeten, zemeljski vonj, medtem ko vonj po amonijaku, gnitju ali kislosti nakazuje na nepopolno kompostiranje. Če je temperatura komposta, enaka ali podobna zunanji pomeni, da je proces kompostiranja končan. Ta dva parametra sta bila dosežena v vseh primerih.

Temno rjava do skoraj črna barva komposta kaže na dobro razgrajen organski material. To so dosegli vsi vzorci, razen enega (KG Z 2025), ki je bil svetlo rjave barve.

Struktura je pokazatelj razgrajenosti, pri čemer je dober znak, če je kompost drobljiv, homogeno zrnast, brez večjih ne-razgrajenih delcev. V dobrem kompostu ni prepoznavnih delov prvotnega materiala, kot so vidna prisotnost vejic, stebel in listov, kar nakazuje na slabšo razgradnjo. V prvem letu (2024) je bil samo kompost s KG Z zelo dobro razgrajen - na kmetiji so izvajali mešanje kupa enkrat v dežju, pri čemer se je kup navlažil. V nobenem od ostalih treh kupov se sicer kompost ob stisku v pest ni razdrobil, pri vseh se je obdržala oblika, vendar pa so bili vzorci na otip nekoliko suhi in so kazali krhkost na površini, kar pomeni, da bi bila za optimalno mikrobiološko aktivnost in lažjo razgradnjo organske snovi boljše nekoliko višja vlažnost. Po smernicah za kompostiranje (Čeh in sod., 2022) naj bi biomasa ob stisku v pest obdržala obliko, a bila hkrati rahlo vlažna na otip, kar torej pri ostalih treh kupih ni bilo povsem doseženo.

V drugem letu (2025) je bila stopnja razgradnje komposta slabša od drugih kupov na KG O in KG Z. Na KG O je bil vzrok morebiti ta, da so morali na začetku pomešati listje in trto (ker ti dve frakciji njihov obiralni stroj ločuje) in morebiti mešanica ni bila dovolj homogena. Na KG Z pa je bil kup premešan le dvakrat, ker se je potem pokvaril traktor. Mešanje biomase pozitivno vpliva na povečanje zračnosti, preprečuje nastanek anaerobnih con (brez kisika), kjer bi se začele razvijati gnilobne bakterije, da ne nastaja neprijeten vonj, na hitrost razgradnje, pomaga pri uravnavanju vlage – suhi in mokri deli se izenačijo, uravnavanju temperature (vroči deli v notranjosti in hladnejši v zunanjem deli se premešajo), bolj enakomerne razmere za mikroorganizme, rahlja se material in olajša dostop kisika. Z mešanjem se aktivne cone razgradnje širijo na celoten volumen kupa.

V kompostu je nezaželena prisotnost primesi, kot so plastika, kovine ali drugi odpadki (Lobnik, 2007). Kakor je razvidno iz preglednice 2, so to dosegli le kupi, ki so v hmeljevini vsebovali biorazgradljivo vrvico.

Kompost mora biti rahlo vlažen, a ne premoker ali izsušen (Lobnik, 2007). Vsi razen enega kupa so to dosegli; kup na KG Z 2025 je namreč imel zelo vlažen obod in relativno suho sredo. Ta kup je poleg ostalih že navedenih težav tudi odkril veter že v januarju in je bil nepokrit do vzorčenja v aprilu. Sicer je kup odkril veter tudi na KG K v tej sezoni, vendar pa je bil kljub temu v tem primeru kompost lepo enakomerno vlažen.

Preglednica 2: Opažanja pri vizualni oceni komposta glede na kmetijo in leto vzorčenja; odebeljeno so zapisane negativno izstopajoče lastnosti posameznega komposta.

Leto vzorčenja	KG	Barva	Vonj	Struktura	Prisotnost nerazgrajenih delcev	Prisotnost neželenih primesi	Vlaga
2024	KG I	temno rjava	po zemlji	slabo razgrajeno, veliko nerazgrajenih stebel	da	žica (trda, oksidirana), polipropilenska vrvica	ustrezna
2024	KG Z	temno rjava	po zemlji	dobro razgrajen	ne	žica (trda, oksidirana), polipropilenska vrvica	ustrezna
2024	KG O	temno rjava	po zemlji	delno razgrajen, vidijo se še stebila hmeljevine	da	polipropilenska vrvica (nacefrana)	ustrezna
2024	KG S	temno rjava	po zemlji	nerazgrajen	da	biorazgradljiva vrvica (nerazgrajena)	ustrezna
2025	KG O	temno rjava	po zemlji	delno razgrajen, vidijo se še stebila od hmeljevine, dokaj nerazgrajena	da	žica (trda, oksidirana), polipropilenska vrvica	ustrezna
2025	KG K	temno rjava	po zemlji	homogena, dobro razgrajena	ne	polipropilenska vrvica	ustrezna
2025	KG Z	svetlo rjava	po zemlji	delno razgrajen, vidijo se še dokaj nerazgrajena stebila hmeljevine	da	kosi nerazgrajene biorazgradljive vrvice	zelo vlažno v zunanem sloju kupa, dokaj suho v sredini
2025	KG S	temno rjava	po zemlji	homogen kompost, dobro razgrajena biomasa	ne	samo na površini še vidno nekaj biorazgradljive vrvice, sicer ne	ustrezna
2025	KG N	temno rjava	po zemlji	homogen kompost, dobro razgrajena biomasa	ne	polipropilenska vrvica	ustrezna
2025	KG I	temno rjava	po zemlji	homogen kompost, dobro razgrajena biomasa	ne	biorazgradljiva vrvica (sicer zelo razpadla, a še nekoliko vidna)	ustrezna

3.2 Razmerje med hmeljevino in maso pridelanega komposta

S tehtanjem začetne hmeljevine (15 t hmeljevine, to je z okrog 1 ha hmeljišča) v septembru 2024 in tehtanjem iz nje nastalega komposta v aprilu 2025 smo ugotovili, da smo iz 15 t hmeljevine (vsebnost vlage 70 %, torej 4,5 t suhe snovi) dobili 11,5 t komposta z 61 % vlage, torej 4,5 t suhe snovi komposta. Suha snov se je med kompostiranjem torej praktično ohranila, izgube so bile očitno minimalne, čeprav bi pričakovali nekaj izgub zaradi biološke razgradnje organskih snovi, pri kateri mikroorganizmi porabljajo ogljik kot vir energije in se večji del ogljika sprosti v obliki CO₂.

3.3 Vlaga

Oshins in sod. (2022) in Cornell Waste Management Institute (1996) priporočajo vlažnost komposta med 45–60 %, po navedbah McFarlanda (2001) naj bi imela začetna kompostna mešanica vsebnost vlage med 50–70 %. Za kompost iz hmeljevine pa je po navedbah Luskar in sod. (2022) primerna vlaga 60–70 %. V naših vzorcih je bila glede na lokacijo aprila 2024 vlaga v kompostih 51–61 %, v aprilu 2025 pa med 60–78 % (preglednica 3). Komposta na KG I in KG S nista dosegla te zahteve. V prvem primeru je bil vzrok morebitna premajhna količina vstopne biomasa oz. premajhna gmota kompostnega kupa, zato proces ni nemoteno potekal, v jeseni pa je bila biomasa nekoliko presuha. V drugem vzorcu pa morebiti vstopna biomasa ni bila homogeno pomešana, zato proces ni nemoteno stekel.

V aprilu 2025 je bil kompost vseh kupov primerne vlažnosti.

V obeh letih se je vlaga v kompostu značilno razlikovala med lokacijami. V aprilu 2024 je bila značilno manjša na KG I in KG S v primerjavi s KG Z in KG O, v aprilu 2025 pa značilno manjša na KG I, KG O in KG S v primerjavi s KG K, KG Z in KG N. V poskusih Luskar in sod. (2022) je bila vlaga komposta iz hmeljevine okoli 70 % (kupi v njihovem poskusu niso bili pokriti čez zimo in pomlad), medtem ko so imeli čez zimo in pomlad pokriti kompostni kupi hmeljevine v poskusu Čeh in sod. (2025) v aprilu vlago 60–71 %.

Preglednica 3: Vsebnost hranil v kompostu glede na kmetijsko gospodarstvo (KG) v aprilu 2024 in aprilu 2025 (po sedmih mesecih kompostiranja; v suhi snovi - s.s.) v primerjavi s hlevskim gnojem in odličnim kompostom iz hmeljevine

Leto vzorčenja	KG	Vsebnost vlage (%)	Celok. P (% v s.s.)	Celok. K (% v s.s.)	N (org. + NH ₄ -N + NO ₃ -N) (% v s.s.)	Organski C (% v s.s.)	Zn (mg/kg s.s.)	Raz-merje C : N	Fe (mg/g s.s.)
2024	KG I	51 a*	0,2 a	0,3 a	1,5 a	27 ab	80 a	12 : 1 c	1,7 ab
2024	KG Z	61 c	0,3 a	0,7 a	3,0 c	34 bc	70 a	8 : 1 ab	0,8 a
2024	KG O	60 bc	0,3 a	0,9 a	2,4 bc	37 c	40 a	10 : 1 bc	3,4 c
2024	KG S	52 ab	0,2 a	0,5 a	1,7 ab	21 a	85 a	8 : 1 a	2,9 bc
2025	KG O	67 a	0,3 b	1,4 c	3,5 c	21 b	47 a	7 : 1 a	2,2 b
2025	KG K	78 b	0,3 b	1,6 c	3,6 c	28 c	43 a	9 : 1 a	0,4 a
2025	KG Z	78 b	0,4 b	1,0 b	4,6 d	27 c	45 a	7 : 1 a	0,03 a
2025	KG S	60 a	0,2 a	0,4 a	1,5 a	12 a	60 a	9 : 1 a	0,9 a
2025	KG N	75 b	0,4 b	1,8 c	4,8 d	29 c	104 b	8 : 1 a	0,04 a
2025	KG I	66 a	0,3 b	0,9 b	2,3 b	19 b	73 ab	8 : 1 a	0,3 a
-	Hlevski gnoj**	75–80	0,5	2,2	2,2	40–45	-	15–25 : 1	-
-	Ciljna vrednost za kompost iz hmeljevine***	65	0,5	2,1	3,5	33	50	9–10 : 1	-

*Enaka črka v stolpcu določenega parametra in znotraj istega leta (2024 in 2025) pomeni, da med vrednostma ni značilne razlike.

**Podatki iz Mihelič in sod. (2010), [Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje](https://skp.si/download/smernice_za_strokovno_utemeljeno_gnojenje-pdf) (dostopno na: https://skp.si/download/smernice_za_strokovno_utemeljeno_gnojenje-pdf), preračunano na suho snov (s.s.)

***Podatki iz članka Čeh in sod. (2025) kot povprečje treh kupov komposta iz hmeljevine s strokovno dosledno izvedenim postopkom kompostiranja.

3.4 pH komposta

V začetni fazi kompostiranja se sproščajo organske kisline, ki jih v termofilni fazi mikroorganizmi razgradijo, kasneje med stabilizacijo pa se sprošča amonij, ki tvori bazično reakcijo (NH₄OH), kar običajno vodi v dvig pH od 7,5 do 8,5. Slabo zračenje lahko povzroči anaerobne razmere, pri čemer nastajajo organske kisline, kar se odrazi v nižjem pH, lahko pa na razliko vpliva tudi različna mikrobna aktivnost. Hachicha in sod. (2009) in Rynk in sod. (1992) navajajo, da je pH območje zrelega komposta 6,0–8,5.

V našem poskusu se je pH komposta v obeh letih značilno razlikoval med lokacijami, je pa bil v vseh primerih v okviru pričakovanega razpona za zrel kompost. V aprilu 2024 je bil značilno manjši na lokaciji KG I (8,0) kot

na ostalih lokacijah, na lokaciji KG S je bil značilno najvišji (8,4) (preglednica 3). V aprilu 2025 je bil pH nekoliko nižji kot v letu prej, bil je 7,7–8,1 glede na lokacijo. Na KG Z, KG N in KG I je bil značilno najnižji, značilno najvišji pa na KG K. V poskusih Luskar in sod. (2022) je bil pH komposta iz hmeljevine 7,6–8,1.

3.5 C:N razmerje

O zrelem kompostu govorimo, ko je C:N razmerje 10–20 : 1, saj je takrat večina lahko razgradljive organske snovi že predelana in mikroorganizmi več ne porabljajo presežka dušika in kompost ne povzroča dušične depresije v tleh. Glede na to sta imela kupa KG Z in KG S v aprilu 2024 preozko C:N razmerje (8 : 1), ostala dva komposta sta dosegla to zahtevo. Vendar je tudi kompost iz poskusa Čeh in sod. (2025), ki je bil proizveden pod skrbnim spremljanjem temperature in obračanjem/mešanjem natančno po strokovnih navodilih, dosegel C:N razmerje 9–10 : 1.

V aprilu 2025 je bilo C:N razmerje v kompostu od 7 : 1 do 9 : 1 in med lokacijami statistično značilno primerljivo. Najožje C:N razmerje je bilo na KG Z (7 : 1), kar je preozko za zrel kompost. Na KG Z se torej pozna tudi na tem parametru, da se kup ni dovolj obračal (samo dvakrat zaradi okvare na traktorju).

Za primerjavo - svež hlevski gnoj ima C:N razmerje 15–25 : 1 (odvisno od stelje in skladiščenja), pri starejšem/kompostiranem gnoju pa je bližje 15 : 1 - bolj podobno dobremu zrelemu kompostu (Rynk in sod., 1992).

3.6 Vsebnost organskega ogljika

V aprilu 2024 je bila vsebnost organskega ogljika v suhi snovi vzorcev komposta 21–37 %, kar je primerljivo z rezultati poskusa Čeh in sod. (2025), v katerih je kompost iz hmeljevine vseboval 23–38 % organskega ogljika. Značilno največja vsebnost organskega ogljika je bila v kompostu na KG O in KG Z ter značilno najmanjša v kompostu s KG S.

Tudi v aprilu 2025 se je vsebnost organskega ogljika med lokacijami značilno razlikovala, vendar so bile vrednosti nižje kot v letu prej. Značilno najmanjša je bila na KG S (12 %), značilno največja pa na KG N (29 %), KG Z in KG K. Morebiti je bila relativno majhna vsebnost ogljika v kompostu na KG S posledica nehoti primešane zemlje (npr. z nakladalno žlico traktorja pri mešanju, z drsanjem le-te po tleh ...). Zemlja namreč vsebuje le 1–3 % organskega ogljika (FAO, 2017), zato že manjša primes razredči delež ogljika v gmoti. To bi bilo možno, saj je ta kompost vseboval tudi značilno najmanj fosforja, kalija in skupnega dušika (preglednica 3).

Rezultati potrjujejo, da ima način izvedbe kompostiranja velik vpliv na končno vsebnost organskega ogljika. Kompost z višjo vrednostjo (npr. KG O, KG Z, KG N) je praviloma bolj stabilen, hranila se sproščajo počasneje, kar je koristno za dolgoročno izboljšanje organske snovi v tleh in rodovitnosti tal. Tak kompost je še posebej primeren za izboljšanje tal, saj prispeva k povečanju vsebnosti humusa v tleh in dolgoročni stabilnosti strukture tal.

3.7 Celokupni fosfor in celokupni kalij

Čeprav je bila kompostirajoča masa septembra in v začetku oktobra 2023 zaradi suhega vremena (slika 1) nekoliko presuha, kmetje kupov niso navlaževali. Razlog, ki so ga navedli, je bil predvsem v tem, da se prvi mesec kompostiranja časovno prekriva z obiranjem drugih sort hmelja, ta agrotehnični ukrep pa ni del njihove rutine na posestvu, zato so bili zaposleni z drugimi opravili. Na nekaterih kmetijah je bila težava, da obiralni stroj ločuje trto in listje in se mora vse to pred kompostiranjem premešati, kar se lahko odrazi v nehomogeni mešanici in se del kupa, kjer je veliko stebel, hitreje osušuje. Te napake so se (med drugim) verjetno odrazile v slabši hranilni vrednosti komposta aprila 2024, kot bi jo sicer lahko dosegli (preglednica 2) in kot so jo na kmetijah dosegli v naslednji sezoni kompostiranja. Skupna vsebnost fosforja (P) in kalija (K) se med lokacijami aprila 2024 sicer ni značilno razlikovala, a v kupih KG Z in KG O so bile vrednosti nekoliko višje. V teh dveh kupih je bila značilno višja tudi vsebnost dušika (N) kot v preostalih dveh. Ta dva komposta sta vsebovala slabše razgrajen material.

Aprila 2025 so se med lokacijami pokazale značilne razlike v vsebnosti celokupnega P in K v kompostu. Značilno najmanj ju je bilo v kupu KG S, ki so ga pokrili dva tedna kasneje kot drugod. Na slabši rezultat na tej lokaciji je morda vplival tudi način priprave kupa, saj so morali stebela in liste hmeljevine, ki jih je stroj ločil, premešati, kar je verjetno povzročilo manj homogeno zmes, kot če bi stroj že sproti mešal liste in delce stebel. Lahko pa je v času zamika v pokrivanju prišlo do dodatne izgube/izpiranja hranil s padavinami.

Če primerjamo vsebnosti P in K v našem poskusu z vzorčnim kompostom iz hmeljevine, ki dosega primerljivo vsebnost P in K kot hlevski gnoj (Čeh in sod., 2025; preglednica 2), vidimo, da bi se z bolj skrbnim postopkom kompostiranja lahko pridelal kompost z višjo vsebnostjo P in K. V poskusih Čeh in sod. (2025) je

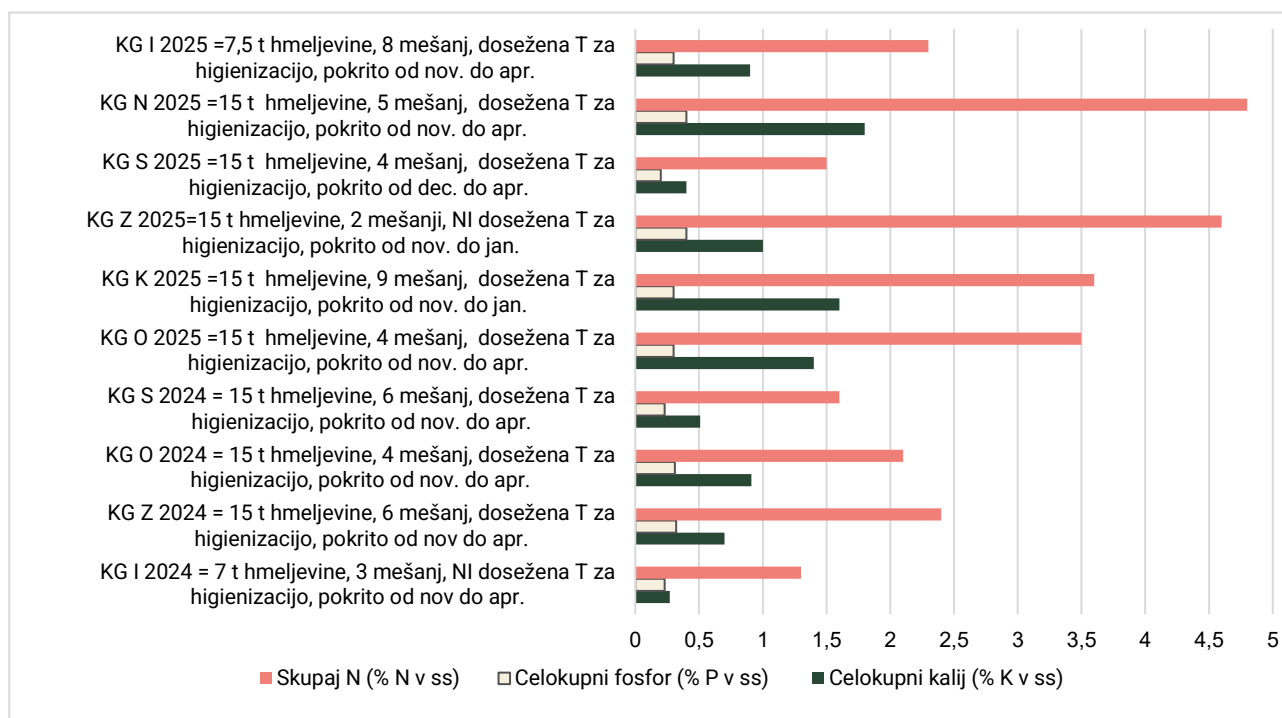
dal najboljše rezultate in je imel tudi najmanj izcednih vod in najnižje izgube hranil kup hmeljevine, ki je bil postavljen takoj po obiranju hmelja, začetni delci hmeljevine so merili 2–10 cm, kup so petkrat obrnili na podlagi rednih meritev temperature in ga prekrili s polprepustno ponjavo novembra. Ta rezultat lahko vzamemo kot referenčni primer glede hranilne vrednosti komposta iz hmeljevine v naših razmerah (preglednica 2). Za primerjavo - kompost iz oljčnih tropin v poskusih Chowdhury in sod. (2013) je vseboval 0,1–3 % P in 0,12–4,4 % K.

3.8 Vsebnost dušika

Vsebnost nitratnega dušika ($\text{NO}_3\text{-N}$) je bila v aprilu 2024 značilno največja v kompostu KG Z (6,0 g/kg), sledil je kompost KG O (slika 2), medtem ko sta imela komposta KG I in KG S značilno najmanjšo vsebnost $\text{NO}_3\text{-N}$ (1,3 oziroma 1,4 g/kg). V aprilu 2025 je bila vsebnost $\text{NO}_3\text{-N}$ značilno največja na KG N (11 g/kg s.s.), značilno najmanjša na KG S (0,3 g/kg s.s.) in KG I (0,6 g/kg s.s.), kar je primerljivo s komposti poskusa Čeh in sod. (2025), ki so po strokovno dosledno izvedenem kompostiranju hmeljevine imeli vsebnost $\text{NO}_3\text{-N}$ 0,7 do 1,6 g/kg.

Po navedbah Zucconi in de Bertoldi (1987) bi morala biti vsebnost amonijske oblike N ($\text{NH}_4\text{-N}$) v zrelem kompostu manjša od 0,4 g/kg; komposti v našem poskusu so v 2024 izpolnjevali to zahtevo, na meji je bil le KG Z. V 2025 pa sta le dva vzorca dosegla to zahtevo, in sicer vzorca s KG O in KG S. Najbolj je vrednost presegel vzorec s KG Z (1,0 mg/kg s.s.), kjer ni bila dosežena termofilna faza in ni bilo ustreznega mešanja.

Kot so poročali v poskusu Čeh in sod. (2025), je višja vsebnost $\text{NO}_3\text{-N}$ ob nižji vsebnosti $\text{NH}_4\text{-N}$ posledica bolj celovitega procesa nitrifikacije in bolj zrelega komposta, omogočenega s pokritjem kupov skozi celotno fazo zorenja v primerjavi s kupi v poskusih, kjer kupi niso bili pokriti. V naših vzorcih iz obeh let (2024 in 2025) je bilo to razmerje zelo ozko le pri KG I in KG S v 2025, ostali vzorci so imeli dosti večjo vsebnost nitratne ($\text{NO}_3\text{-N}$) kot amonijske oblike N ($\text{NH}_4\text{-N}$). Samo v dveh primerih (na KG I in KG S v 2025) je nitrifikacija potekala manj intenzivno.



Slika 2: Vsebnost različnih oblik dušika v kompostu različnih kmetij (KG) aprila 2024 in aprila 2025

3.9 Vsebnost cinka in železa

Med vzorci komposta v aprilu 2024 ni bilo značilnih razlik v vsebnosti cinka, v aprilu 2025 pa se je med lokacijami vsebnost značilno razlikovala med lokacijami, in sicer je bila značilno največja v kupu na KG I, sledil je kup na KG N. Kljub temu so glede na vsebnost cinka vsi komposti v obeh preučevanih letih dosegli zahtevo za 1. razred (manj kot 0,4 g Zn/kg suhe snovi). S cinkom je bil problem v kompostu iz hmeljevine v naših poskusih sicer le enkrat v preteklih letih, ko so hmeljevini pred začetkom kompostiranja primešali kurjeke.

Vsebnost železa (Fe) sta imela v aprilu 2024 komposta KG S in KG O (oba kupa iz hmeljevine, ki je vsebovala žico kot vodilo) značilno višjo kot druga dva komposta (KG I in KG Z), ki sta imela kot vodilo primešano plastično oziroma biorazgradljivo vrstico iz polimlečne kisline (PLA) (preglednica 3). V aprilu 2025 pa je bila vsebnost Fe v kompostu na KG O, ki je imel edini žico kot vodilo v celotnem poskusu, značilno večja kot v vseh ostalih vzorcih.

Določene mejne vrednosti za vsebnost železa v kompostu ni, so pa rezultati raziskav pokazali, da se vsebnost med komposti iz različnih organskih odpadkov močno razlikuje (Gao in sod., 2023) glede na izvor materiala, sestavo vhodnih snovi in postopke kompostiranja. V poskusu Ceylan (2014), v katerih so začetne mešanice biomase pripravili z mešanjem govejega gnoja, piščančjega gnoja, lupin lešnikov, odpadkov obrezovanja lešnikov, zelenjavnih in sadnih odpadkov ter suhih listov, nato pa so jih kompostirali 180 dni, je bila vsebnost Fe v končnem kompostu 4025 mg/kg, 8879 mg/kg, 3889 mg/kg oz. 1775 mg/kg.

3.10 Bioindikatorski test kalivosti

V kolikor je vznik posejanih rastlin nad 90 %, se šteje, da je kompost odličen, v kolikor je med 80–90 % dober, v kolikor je vznik pod 80 %, pa se šteje, da je takšen kompost sicer sprejemljiv, a je možna blaga fitotoksičnost (Evanylo, 2020). Skrbna in ustrezna priprava materiala ter nadzor procesa kompostiranja omogočata, da dobimo kakovostnejši kompost, kar posledično vpliva tudi na boljši vznik rastlin. Nasprotno pa lahko manj natančna tehnologija privede do manj kakovostnega komposta in slabših rezultatov pri vzniku. V našem poskusu je bil najvišji vznik kitajskega kapusa zabeležen pri kompostu s KG N 2025, in sicer 94 %, najnižji pa je bil pri kompostu s KG Z 2025, in sicer pod 80 % (slika 3). V ostalih vzorcih komposta je bil vznik 86 %.

Rezultati tega testa potrjujejo rezultate predhodnih meritev, da brez ustreznega mešanja razgradnja ni enakomerna in lahko v gmoti ostanejo fitotoksične snovi (npr. amonijak, hlapne organske kisline), ki zavirajo vznik. Zaradi nepopolne termofilne faze v primerih, ko kompost ne doseže 55–65°C več dni zapored, se ne uničijo patogeni in škodljive bakterije, kompost pa lahko vsebuje organizme, ki ovirajo kalitev ali razvoj rastlin. Če kompost ni dozorel, lahko v njem še vedno poteka razgradnja, pri čemer se porablja kisik in se ustvarjajo plini, kar negativno vpliva na rast rastlin.

Težave pri izvajanju kompostiranja	Št. Mešanj	T za higienizacijo	Vsebnost hranil	Razgradnja biomase	Barva	Vlaga	Vonj	C/N razmerje	Bioindikatorski test
Kupi jeseni nekoliko presuhi	☒ premalo hmeljevine (7 t) za postavitev kupa + ☒ potrebno mešanje stebel in listov	3	☹ NI dosežena	☹ nizka	☹ nepopolna	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ dobro
	☒ potrebno mešanje stebel in listov	4	☹ dosežena	☹ srednja	☹ nepopolna	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ dobro
	☒ Mešanje kupa 1x v dežju ☹	6	☹ dosežena	☹ srednja	☹ dobro razgrajeno	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro
	☒ potrebno mešanje stebel in listov	6	☹ dosežena	☹ nizka	☹ slaba	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro
☒ kup pokrit šele v decembru	☒ potrebno mešanje stebel in listov	4	☹ dosežena	☹ najslabša od vseh	☹ dobro razgrajeno	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro
☒ okvara traktorja - kup premešan le 2x	☒ ponjavo odpihnil veter v januarju	2	☹ NI dosežena	☹ srednja	☹ nepopolna	☹ svetlo rjava	☹ zelo mokro v skorji, znotraj presuho	☹ po zemlji	☹ slabo
☒ premalo hmeljevine (7.5 t) za postavitev kupa	☒ potrebno mešanje stebel in listov	8	☹ dosežena	☹ srednja	☹ dobro razgrajeno	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro
☒ potrebno mešanje stebel in listov		4	☹ dosežena	☹ dobra	☹ nepopolna	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ slabo
☒ ponjavo odpihnil veter v januarju		9	☹ dosežena	☹ dobra	☹ dobro razgrajeno	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro
		5	☹ dosežena	☹ najboljši od vseh	☹ dobro razgrajeno	☹ temno rjava	☹ optimalna	☹ po zemlji	☹ srednje dobro

Slika 3: Shematsko prikazani rezultati kompostiranja na kmetijah glede na vrsto težave pri izvajanju kompostiranja (zelena barva – parameter ustrezen, rumena barva – parameter srednje dober, rdeča barva – slaba ocena za dotičen parameter)

4 ZAKLJUČKI

Pravilno izvedeno kompostiranje hmeljevine na kmetiji predstavlja učinkovit proces za pridobitev kakovostnega in varnega organskega gnojila – s skrbnim postopkom kompostiranja lahko pridelamo kompost, ki je v vsebnosti P in K primerljiv hlevskemu gnoju, v vsebnosti N pa ga celo prekaša – vendar je treba dosledno slediti priporočenim smernicam. Kmetije v naši raziskavi so pridelale kompost z nekoliko manjšo vsebnostjo hranil od pričakovane, nekatere so imele tudi slabše razgrajen in celo nehigieniziran kompost. Razlogi so bili kombinacija različnih nedoslednosti: v enem primeru se je kup premešal le dvakrat, v drugem se je pokrtil relativno pozno – šele v sredini decembra, vhodna biomasa hmeljevine je bila pol manjša od priporočene, biomasa je bila jeseni presuha, ipd.

Največji negativen vpliv na kakovost komposta je povzročila okvara traktorja, zaradi katere je bil kup premešan le dvakrat (KG Z 2025). Ta kompost je imel najslabše parametre in ni izpolnil varnostnih kriterijev - bioindikatorski test kalivosti je pokazal manj kot 80 % kalitev semen kitajskega kapusa, kar nakazuje morebitno fitotoksičnost komposta. Težava se je nakazala že jeseni, ko kup ni dosegel temperature za higienizacijo, ki znaša vsaj 55 °C. Prav tako je bil to edini kompost svetlo rjave barve, medtem ko so vsi ostali razvili značilno temno rjav odtенок. Vsebnost hranil je bila srednja, razgradnja vhodnega materiala pa nepopolna - v kompostu je bilo še veliko nerazgrajenih stebel. Razmerje C:N je bilo neugodno, kar dodatno potrjuje nizko zrelost in slabo kakovost komposta.

Drugi najslabši postopek je bil na KG I 2024 - jeseni presuha biomasa hmeljevine v kombinaciji s premajhno vhodno količino biomase (le 7 ton namesto priporočenih najmanj 15 ton). Ta kup ni dosegel temperature, potrebne za higienizacijo, razgradnja materiala je bila nepopolna, vsebnost hranil v kompostu pa majhna.

Čeprav je bila količina začetne biomase na KG I v naslednjem letu prav tako nezadostna (7,5 t), se ta pomanjkljivost ni odrazila v toliko slabši kakovosti komposta, saj je bil kup jeseni premešan kar osemkrat in ni bil presuh.

Težavo prenizke vlažnosti v kupu jeseni se je dalo rešiti že s tem, da je kmet kup enkrat premešal med dežjem – primer KG Z 2024. Med vsemi kupi, ki so bili jeseni 2023 nekoliko presuhi, je imel ta ukrep izrazito pozitiven vpliv na kakovost komposta. Vsebnost hranil sicer ni bila najvišja, se pa je biomasa dobro razgradila.

Najslabše rezultate glede vsebnosti hranil med vsemi preučevanimi kompostnimi kupi je pokazal kup KG S 2025. Kot možen vzrok navajamo zamik pri prekrivanju kupa, saj je bil ta pokrit šele sredi decembra namesto konec novembra, zaradi česar je v vmesnem obdobju verjetno prišlo do povečanega izpiranja hranil. Zato je pravočasno pokrivanje kompostnega kupa, takoj po termofilni fazi, izjemnega pomena. Poleg tega obstaja možnost, da stebila in listi hmeljevine na začetku niso bili enakomerno premešani ali pa se je med mešanjem v kup primešala zemlja, kar sklepamo na podlagi nizke vsebnosti organskega ogljika, ugotovljene prav v tem kompostu.

Po vsebnosti cinka so vsi komposti dosegli zahtevo za 1. kakovostni razred, vsebnost železa pa je bila značilno večja v primeru komposta, nastalega iz hmeljevine s primešano žico, ki je tekom rastne sezone služila kot opora hmelju.

Najboljše rezultate je dosegel kompost na KG N 2025, kjer je kmet dosledno upošteval smernice za kompostiranje hmeljevine na kmetiji.

Iz 15 t hmeljevine, ki predstavlja maso hmeljevine z enega hektarja hmeljišč, s približno 70 % vlago (4,5 t suhe snovi) smo v pridobili 11,5 t komposta z 61 % vlage, torej 4,5 t suhe snovi komposta.

Zahvala

Delo je nastalo v sklopu After LIFE programa EU LIFE projekta BioTHOP, rezultati pridobljeni v okviru projekta EIP EKOHMELJ in prispevek spisan v okviru strokovne naloge Tehnologija pridelave in predelave hmelja. Financerjem se zahvaljujemo za financiranje in zaupanje.

Dostopnost raziskovalnih podatkov

Podatki so na voljo pri avtoricah na utemeljeno zahtevo.

5 VIRI

[Agrometeorološki portal](https://agromet.mkgp.gov.si/APP2/sl/Home/Index). 2025. Dostopno na: <https://agromet.mkgp.gov.si/APP2/sl/Home/Index>

Chowdhury A.K.M.M.B., Akrotos C.S., Vayenas D.V., Pavlou S. (2013): Olive mill waste composting: a review. *International Bio-deterioration and Biodegradation*, 85: 108–119.

Cornell Waste Management Institute (1996). Available at:

https://compost.css.cornell.edu/physics.html?utm_source=chatgpt.com

- Čeh, B., Flis, J., Luskar, L., Polanšek, J., Trošt, Ž. 2022. [Smernice za ravnanje s hmeljevino in njeno predelavo v kompost na kmetijskem gospodarstvu, ki se ukvarja s hmeljarstvom](https://life-biothop.eu/wp-content/uploads/2022/08/Smernice_hmeljevina-AVGUST-2022_FINAL-VERZIJA-1.pdf). Dostopno na: https://life-biothop.eu/wp-content/uploads/2022/08/Smernice_hmeljevina-AVGUST-2022_FINAL-VERZIJA-1.pdf
- Čeh, B., Polanšek, J., Trošt, Ž., Karničnik Klančnik, A. 2025. [On-site composting of waste hop biomass: the impact of covering piles on leachate quantity and compost quality](#). Plant Soil Environ., 2025, 71(2):109-122 | DOI: 10.17221/197/2024-PSE
- Evanylo, G. 2020. [Compost Standards and Quality](https://www.clemson.edu/extension/camm/manuals/proceedings/camm_2020/07_compost_quality_and_standards_camm_jan_2020.pdf?utm_source=chatgpt.com). Available at: https://www.clemson.edu/extension/camm/manuals/proceedings/camm_2020/07_compost_quality_and_standards_camm_jan_2020.pdf?utm_source=chatgpt.com
- FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Gao, Y., Wang, S., Tan, W., Xi, B. 2023. Front. Sustain. Food Syst., 01.06.2023. Sec. [Waste Management in Agroecosystems](#), Volume 7. Dostopno na: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1181392>
- Hodnik, A. 1998. Kemične analize talnih vzorcev, rastlinskih vzorcev in odcednih vod. Univerza v Ljubljani, Katedra za pedologijo, prehrano rastlin in ekologijo, Ljubljana (interni vir).
- Jahangir, M.M.R., Islam, S., Nitu, T.T., Uddin, S., Kabir, A.K.M.A., Meah, M.B., Islam, R. 2021. Bio-compost-based integrated soil fertility management improves postharvest soil structural and elemental quality in a two-year conservation agriculture practice. Agronomy, 11: 11. DOI: 10.3390/agronomy11112101
- Lobnik, F. 2007. Kompostiranje biološko razgradljivih odpadkov – Priročnik. Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Pan, C., Zhao, Y., Chen, X., Zhang, G., Xie, L., Wei, Z., Song, C. 2023. [Improved carbon sequestration by utilization of ferrous ions during different organic wastes composting](#). Journal of Environmental Management, 347: 119188. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119188>.
- Plants Database. 1999. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. Dostopno na: <http://plants.usda.gov> (pridobljeno 2022).
- Yuan L., Jie L., Guangming Z., Ming C., Dan M., Guoxue L., Difang Z. (2018). [Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects](#). Waste management, volume 71, p. 109-114. Dostopno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17306918?utm_source=chatgpt.com