

Vpliv mesta shranjevanja na lastnosti lesnega oglja in briketov lesnega oglja za žar

The effect of storage place on the characteristics of wood charcoal and wood charcoal briquettes for grilling



Anže JEREB¹, Domen FRECE², Marcel EGARTNER³, Lara PLEVNIK⁴, Patricija ORAŽEM⁵, Tomaž RIHTER⁶

Izvelek:

V raziskavi smo proučevali vpliv zračne vlage na kakovost in kurilno vrednost lesnega oglja ter briketov lesnega oglja za žar. Uporabili smo slovensko lesno oglje s kmetije Frece in brikete lesnega oglja znamke Forest Premium. Lesno oglje in brikete lesnega oglja smo razdelili v štiri vzorce, ki smo jih hranili na štirih različnih lokacijah: v drvarnici, zunaj pod balkonom bivalnega objekta, v izolirani neogrevani garaži in v kurilnici. Vzorce smo vsak dan tehtali, poleg tega smo na lokacijah shranjevanja merili temperaturo in zračno vlago. Po 14-dnevem obdobju meritev smo vzorce vneli, da smo pridobili podatke o temperaturi zgorevanja in času gorenja, del vzorca pa smo porabili za analizo vsebnosti vode in kurilne vrednosti. Najvišjo vsebnost vode sta imela vzorca lesnega oglja in briketov lesnega oglja, ki sta bila izpostavljena najvišji zračni vlagi, najnižjo vsebnost vode pa vzorca, ki sta bila izpostavljena najnižji zračni vlagi. Vzorci z višjo vsebnostjo vode so imeli tudi manjšo kurilno vrednost in temperaturo zgorevanja. Briketi lesnega oglja so izkazali večjo higroskopsko sposobnost, ki je verjetno vplivala na sposobnost za vžig (vzorci izpostavljeni višji zračni vlagi se niso vneli). Lesno oglje je kljub enakim razmeram shranjevanja ohranjalo večjo kurilno vrednost v primerjavi z briketi lesnega oglja. Rezultati raziskave poudarjajo pomembnost pravilnega shranjevanja lesnega oglja in briketov lesnega oglja, kakršno je suho in toplo okolje. Tako dosežemo optimalno energetsko učinkovitost in trajnostno rabo teh energetskih virov.

Ključne besede: Trda goriva za žar, lesno oglje, briketi lesnega oglja, kakovost, shranjevanje

Abstract:

In this study, we primarily examined the impact of air humidity on the quality and calorific value of wood charcoal and briquettes for grilling. We used Slovenian wood charcoal from Kmetija Frece and Forest Premium brand wood charcoal briquettes. Wood charcoal and wood charcoal briquettes were divided into four separate samples, which were stored at four different locations: in a woodshed, outside under the balcony of a residential building, in an unheated, insulated garage, and in a boiler room. The samples were monitored daily by weighing. Temperature and air humidity were also automatically measured at the storage locations. After a 14-day measurement period, the samples were ignited to obtain data on ignition temperature and burning time. A portion of the sample was also used to analyse water content and calorific value. The highest water content was found in samples of wood charcoal and wood charcoal briquettes exposed to the highest air humidity, while the lowest water content was found in samples exposed to the lowest air humidity. Samples with higher water content also had lower calorific value and ignition temperature. Wood charcoal briquettes exhibited a higher hygroscopic capacity, which likely affected their ignition ability (samples exposed to higher air humidity did not ignite). Despite the same storage conditions, wood charcoal maintained a higher calorific value compared to wood charcoal briquettes. The results of this study emphasise the importance of proper storage of wood charcoal and wood charcoal briquettes in dry and warm environments, as this ensures optimal energy efficiency and sustainable use of these energy sources.

Key words: Solid fuels for grilling, wood charcoal, wood charcoal briquettes, quality, storage

¹ A. J., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. jereb.anze96@gmail.com

² D. F., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. domenfreze@gmail.com

³ M. E., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. marcel.egartner2000@gmail.com

⁴ L. P., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. laraplev@gmail.com

⁵ P. O., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. po98754@student.uni-lj.si

⁶ T. R., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. tr86318@student.uni-lj.si

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Lesno oglje in briketi lesnega oglja so pomemben vir energije, zlasti v gospodinjstvih, kjer jih uporabljajo za pripravo jedi (Zam in sod., 2023). Lesno oglje nastaja v procesu oglestitve ali karbonizacije lesa, ki lahko poteka tradicionalno v oglarskih kopah, sodobnejši način pa je oglestitev v oglarskih pečeh ali v procesu suhe destilacije lesa. Za pridobivanje, vsaj v Sloveniji, uporabljamo les slabše kakovosti (sečni ostanki, les, pridobljen iz redčenj, in les, pridobljen v postopku čiščenja zaraščajočih se kmetijskih površin). Torej v Sloveniji govorimo o trajnostno pridobljenem lesnem oglju (Imperl in sod., 2021). Briketi lesnega oglja so posredni proizvod lesnega oglja, narejeni so iz zdrobljenega lesnega oglja in prahu, čemur dodajo različna veziva, da briketi lesnega oglja obdržijo svojo enakomerno obliko. Zaradi enakomerne oblike briketi lesnega oglja tudi enakomerneje gorijo kot lesno oglje (Stare in sod., 2024).

Zahteve in preskusne metode za lesno oglje in brikete lesnega oglja za žar za uporabo v napravah za peko na žaru določa standard SIST EN 1860-2:2023. Na podlagi tega dokumenta analiziramo velikost delcev, vsebnost ogljika, vsebnost vode in vsebnost pepela (Stare in sod., 2024). Našteti dejavniki vplivajo tudi na kurilno vrednost lesnega oglja in briketov lesnega oglja (Ruiz Aquino in sod., 2019). Kurilna vrednost lesnega oglja in briketov je tesno povezana z načinom shranjevanja, saj okoljski dejavniki, kot sta temperatura in zračna vlaga, lahko bistveno vplivajo na njihove lastnosti. Lesno oglje, znano po svojih visoko absorptivnih lastnostih, nase hitro veže vodo iz okolja, kar lahko povzroči zmanjšanje njegove kurilne vrednosti (Bennett, 2024).

Raziskave so pokazale, da je ustrezno shranjevanje ključno za ohranjanje kakovosti lesnega oglja. Zam in sod. (2023) so v vlažnem tropskem okolju Afrike ugotovili, da se z večanjem vlažnosti zmanjšuje vsebnost ogljika, kar negativno vpliva na kurilno vrednost. Razlike so opazili tudi med vrstami lesa, uporabljenega za proizvodnjo lesnega oglja, kar kaže na obsežnost vpliva zunanjih razmer. Dodatno je bilo ugotovljeno, da briketi lesnega oglja zaradi svoje strukture absorbirajo

več vode kot lesno oglje, kar vpliva na njihovo sposobnost za vžig (Zam in sod., 2023).

Nedavna analiza kakovosti lesnega oglja za žar na slovenskem trgu, ki jo po predpisanem standardnem postopku (standard SIST EN 1860-2:2023) izvaja Gozdarski inštitut Slovenije, je pokazala, da številni izdelki ne dosegajo mejnih vrednosti, opredeljenih v standardu. Vsebnost vezanega ogljika mora biti vsaj 75 %, vsebnost pepela manj kot 8 % in prav tako vsebnost vode manj kot 8 %. Poleg tega so opredeljena še določila o velikosti delcev v vsaki vreči: velikost delcev do 10 mm ne sme preseči 7 %, velikost delcev do 20 mm ne sme preseči 20 %, velikost delcev od 20 mm do 80 mm mora predstavljati vsaj 80 %, velikost delcev od 80 mm do 150 mm ne sme preseči 10 %, delci, večji od 150 mm, pa po standardu niso dovoljeni. Določila omenjenega standarda so za brikete lesnega oglja nekoliko drugačna kot za lesno oglje. V briketih lesnega oglja je dovoljeni delež pepela do 18 %, delež vezanega ogljika mora biti večji od 60 %, mejna vsebnost vode pa je enaka kot pri lesnem oglju in ne sme preseči 8 %. Pri velikosti delcev je minimalno določilo samo eno, in sicer delež delcev velikosti 20 mm ne sme preseči 10 % (standard SIST EN 1860-2:2023). V letu 2024 so bile poleg omenjene analize v obdobju 2020 – 2024 izpeljane še tri analize kakovosti lesnega oglja, in sicer v letih 2020, 2021 in 2023 (Stare in sod., 2020; Stare in sod., 2021; Stare in sod., 2023). Rezultati so iz leta v leto podobni. Največja težava (pri vseh štirih analizah) je predvsem pri slovenskem lesnem oglju zaznana neskladje s predpisanimi mejnimi vrednostmi pri velikosti delcev. Neskladja nastajajo tudi v deležu vezanega ogljika, a slovensko lesno oglje pri tem parametru v vseh štirih letih ni imelo težav. Prav tako pri slovenskem lesnem oglju ni bilo neskladij z minimalnimi določili standarda pri vsebnosti pepela in vode (Mencarelli in sod., 2025).

Pomembno je poudariti, da so določila za ustrezno shranjevanje lesnega oglja specifična. Shranjevanje v suhem, hladnem in temnem prostoru ter uporaba posod, nepropustnih za vlago ali absorpcijske materiale, sta ključna ukrepa za zmanjšanje vlažnosti in s tem povezanih negativnih vplivov. V preteklosti so za shranjevanje

pogosto uporabljali vreče iz jute, ki so omogočale nekaj prepustnosti zraka. Dandanes so zaradi boljše odpornosti proti vlagi v uporabi dvoslojne papirnate vreče, ki zagotavljajo boljšo zaščito pred zunanjimi vplivi, hkrati pa tudi bolj čisto shranjevanje, saj z njimi zmanjšamo možnost prašenja. Poleg vpliva na kakovost omenjenih energijskih virov lahko ustrezno shranjevanje prispeva tudi k zmanjšanju odpadkov in izboljšanju ekonomskih koristi. Študije so pokazale, da lahko napačno shranjevanje povzroči izgubo več kot 10 % potencialne energije zaradi povečane vsebnosti vode, zaradi česar nastanejo pomembne posledice za uporabnike v gospodinjstvih (Bennett, 2024).

Glede na to, da so vrednosti okolijskih dejavnikov tesno povezane z mestom shranjevanja, smo v raziskavi skušali ugotoviti, kako le-ta (drvarnica, zunaj pod balkonom bivalnega objekta, neogrevana izolirana garaža in kurilnica) vplivajo na vsebnost vode in posledično na kurilno vrednost ter sposobnost za vžig lesnega oglja in briketov lesnega oglja.

2 MATERIALI IN METODE DELA

2 MATERIALS AND WORKING METHODS

V raziskavi smo uporabili slovensko lesno oglje, proizvedeno na tradicionalen način na kmetiji Frece (okolica Sevnice), in brikete lesnega oglja (blagovna znamka Forest Premium) ponudnika Petrol, neznanega izvora. Iz vsake vrste kuriva, v primeru lesnega oglja smo uporabili eno 10 kg vrečo, v primeru briketov lesnega oglja pa eno 3 kg vrečo, smo pripravili štiri vzorce in jih ustrezno označili s kodo (O = lesno oglje, B = briketi lesnega oglja). Lesno oglje smo predhodno presejali skozi sito z velikostjo odprtin 80 mm, 20 mm in 10 mm in v vsak vzorec natehtali približno enako količino vsake granulacije (štirje enaki deli vsake granulacije glede na skupno maso vsake granulacije). Brikete lesnega oglja pa smo zaradi enakomerne oblike v vsak vzorec razporedili v enakem številu (deset na vzorec). Pred začetkom analize smo vse vzorce stehali skupaj z vrečo na gram natančno. Podatki so prikazani v preglednici 1. Pred začetkom poskusa vzorcev nismo sušili. Predpostavljali smo, da ima

vsako kurivo v izvorni embalaži homogeno vsebnost vode, saj smo lesno oglje in tudi brikete lesnega oglja skladiščili v zaprti embalaži ter v zaprtem neogrevanem prostoru vsaj tri mesece, s čimer smo omogočili homogenizacijo celotnega vzorca (polnih, originalno zaprtih vreč). Vzorce smo natehtali v prostoru, kjer je potekala homogenizacija, in smo jih nato isti dan razporedili na štiri različne lokacije (v drvarnico, zunaj pod balkon bivalnega objekta, v zaprto neogrevano izolirano garažo in v kurilnico) na Količevem (okolica Domžal). Vsaka lokacija je pomenila dodatno oznako v zapisu kode vzorca (drvarnica = 1, zunaj pod balkonom bivalnega objekta = 2, zaprta, neogrevana izolirana garaža = 3 in kurilnica = 4). Lokacije smo izbrali glede na predvidene najpogostejše lokacije shranjevanja lesnega oglja in briketov lesnega oglja v času sezone peke na žaru. Na vsako lokacijo smo postavili po en vzorec lesnega oglja in briketov lesnega oglja. Zaradi spremljanja razmer za shranjevanje smo na vsako raziskovalno lokacijo namestili majhno meteorološko postajo, ki v desetminutnem intervalu meri temperaturo zraka in zračno vlago (oboje na desetinko °C oz. odstotek natančno). Vsak dan ob isti uri smo vzorce tudi stehali (tehtanje skupaj z vrečo na gram natančno) in v 14-dnevni raziskavi spremljali spremembe v masi vzorcev. Omenjeno obdobje smo izbrali na podlagi predvidevanja, da je prvih 14 dni zaradi higroskopske sposobnosti lesnega oglja (in posledično tudi briketov lesnega oglja) najbolj ključnih za spremembe vsebnosti vode v vzorcih.

Po končanem obdobju zbiranja podatkov o pogojih shranjevanja smo izmerili temperaturo zgorevanja vzorcev. V ta namen smo del vsakega vzorca pretresli v dimnik za pripravo žerjave za peko na žaru. V dimnik smo natresli približno 15 cm vzorca, kar je okoli 500 g lesnega oglja in 100 g briketov lesnega oglja. Vzorec smo vžgali z eno vžigalno kocko (ekološki prižigalci Aladin) in s pomočjo temperaturne sonde spremljali trajanje zgorevanja in temperaturo zgorevanja. Naprava je beležila podatke v 10- sekundnem intervalu in na desetinsko °C natančno. Kot ključno spodnjo mejo smo izbrali temperaturo 100 °C, saj je to temperatura, pri kateri se peka na žaru začne oz. konča (nižje temperature niso primerne).

Preostali del vzorca smo uporabili za analizo vsebnosti vode, ki smo jo opravili v Laboratoriju za lesno biomaso na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Za to smo uporabili standardni postopek za ugotavljanje vsebnosti vode v lesnem oglju za žar, določenem na podlagi standarda SIST EN 1860-2:2023 in prilagojenem ISO 562. Najprej smo stehali prazne posode, vanje pa natehtali 500–505 g vzorca in ga ustrezno označili. V vzorcih briketov lesnega oglja potrebna količina ni bila dosežena zaradi majhne osnovne količine materiala. Vzorce smo sušili pri temperaturi 105 °C do konstantne mase. Nato smo vzorce ponovno stehali skupaj s posodo in na podlagi izgubljene mase izračunali vsebnost vode. Vsebnost le-te (w %) izračunamo kot kvocient razlike med maso svežega in suhega vzorca ter svežega vzorca in je izražena v odstotkih, za kar smo uporabili enačbo:

enačba 1:

$$w (\%) = \left(\frac{masa_{svež}(g) - masa_{suh}(g)}{masa_{svež}(g)} \right) * 100 \quad \dots (1)$$

V nadaljevanju smo iz vsebnosti vode lahko izračunali tudi kurilno vrednost vzorcev (izraženo v MJ/kg), pri čemer smo uporabili enačbo (Krajnc in sod., 2009):

enačba 2:

$$Hi (MJ/kg) = \frac{30 MJ/kg * (100 - w\%) - 2,44 * w\%}{100} \quad \dots (2)$$

Pri tem vrednost 30 MJ/kg pomeni povprečno kurilno vrednost lesnega oglja pri vsebnosti vode 0 %.

Zbiranje in obdelava podatkov je potekalo v programu MS Excel.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Temperatura in zračna vlaga na lokacijah shranjevanja

3.1 Temperature and humidity at storage locations

Meritve so potekale v obdobju od 2. 12. do 16. 12. 2024. Meritve zračne vlage in temperature zraka so ves čas poskusa potekale avtomatsko v desetminutnem intervalu. Vzorce smo tudi vsak dan ob 16. uri stehali na gram natančno in zabeležili podatke o masi. Dnevi s slabšim vremenom (megla in padavine) so dobro opazni na grafu zračne vlage (zračna vlaga okoli 100 %) pri vzorcih, postavljenih zunaj pod balkon bivalnega objekta (slika 2).

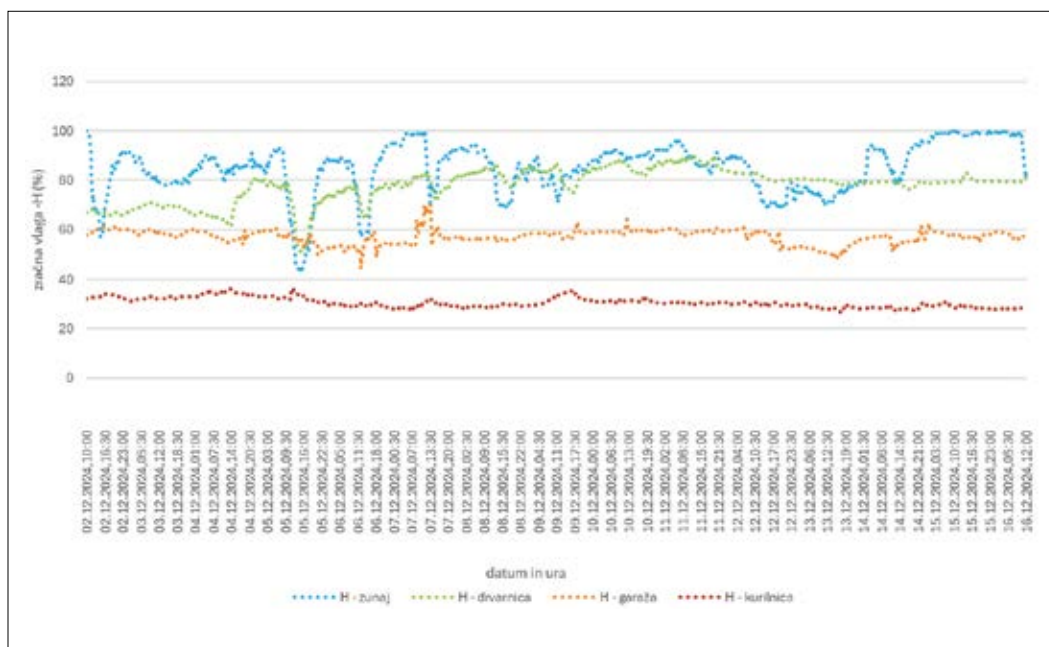
Na sliki 1 je prikazana temperatura na vseh lokacijah shranjevanja vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja. V kurilnici je povprečna temperatura znašala 27,7 °C, v neogrevani izolirani garaži 15,1 °C, v drvarnici 2,6 °C in zunaj pod balkonom bivalnega objekta 2,0 °C. Najvišjo temperaturo smo izmerili v kurilnici in je znašala 29,0 °C, najnižjo pa zunaj pod balkonom bivalnega objekta in je znašala –2,4 °C.

Zunaj in v drvarnici so si bile temperature zelo podobne in so nihale premo sorazmerno. Vseeno pa so bile temperature v drvarnici višje zaradi zaprtosti objekta (objekt ima lesene stene brez izolacije). Standardni odklon temperatur zraka je bil najmanjši v garaži, in sicer 0,8 °C, višji je bil v kurilnici, 0,9 °C, in zunaj, 2,0 °C, najvišji pa je bil v drvarnici in je znašal 2,1 °C.

Na sliki 2 je prikazana zračna vlaga na vseh lokacijah shranjevanja vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja. Najvišjo povprečno zračno vlago smo zaznali zunaj pod balkonom bivalnega objekta (85,0 %), v drvarnici je povprečna zračna vlaga znašala 77,9 %, v garaži 57,2 %, v kurilnici pa samo 30,5 %. Najvišjo zračno vlago smo izmerili zunaj pod balkonom bivalnega objekta, in sicer je bila 100,0 %, najnižja pa v kurilnici, 26,9 %. Standardni odklon zračne vlage je bil najmanjši v kurilnici, in sicer 2,0 %, višji je bil v garaži, 2,9 %, in drvarnici, 6,9 %, najvišji pa zunaj, 10,3 %.



Slika 1: Temperatura na vseh lokacijah shranjevanja vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja
Figure 1: Temperature at all storage locations for charcoal and charcoal briquette samples



Slika 2: Zračna vlaga na vseh lokacijah shranjevanja vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja
Figure 2: Air humidity at all storage locations for charcoal and charcoal briquette samples

3.2 Masa lesnega oglja in briketov lesnega oglja na različnih lokacijah shranjevanja

3.2 Mass of charcoal and charcoal briquettes at different storage locations

Spreminjanje mase vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja je predstavljeno na sliki 3. Pri tem je treba poudariti, da smo vzorce tehtali skupaj z vrečo. S črko O je označeno lesno oglje, s črko B pa briketi lesnega oglja. S števkami so označene lokacije shranjevanja (drvarnica = 1, zunaj pod balkonom bivalnega objekta = 2, neogrevana, izolirana garaža = 3 in kurilnica = 4). Največjo razliko v masi smo v času raziskave zaznali pri briketih lesnega oglja, ki so bili shranjeni v kurilnici, saj so izgubili kar 11,7 % mase (57,0 g). Največjo maso je pridobilo lesno oglje, shranjeno zunaj pod balkonom bivalnega objekta, ki je pridobilo kar 4,6 % glede na prvotno maso (111,0 g). Izračun standardnega odklona pokaže največje sprememb mase pri vzorcu lesnega oglja,

ki je bil shranjen v garaži (34,5 g), najmanjši standardni odklon pa je bil pri briketih lesnega oglja, shranjenih v garaži (1,8 g).

3.3 Masa lesnega oglja in briketov lesnega oglja glede na vlažnost zraka

3.3 Mass of charcoal and charcoal briquettes in relation to air humidity

Za analizo povezanosti med maso lesnega oglja in briketov lesnega oglja ter vlažnosti zraka smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije. Analizo smo opravili v programu JASP (verzija 18.3). Ugotovili smo!, da obstaja statistično značilna povezava med gibanjem mase lesnega oglja in briketov lesnega oglja, ki so bili shranjeni zunaj, saj je v takem primeru vrednost $p \leq 0,05$ (preglednica 1). Pri preostalih vzorcih in lokacijah ni statistično značilne povezave, saj je $p > 0,05$. Pozitivna korelacija nastane, ko je vrednost $r > 0$, kar pomeni, da se s povečevanjem ene spremenljivke povečuje tudi druga. To je veljalo pri



Slika 3: Razlika v masi vzorcev lesnega oglja in briketov lesnega oglja od 2. 12 do 16. 12. 2024

Figure 3: Weight difference between charcoal and charcoal briquette samples from 2/12 to 16/12/2024

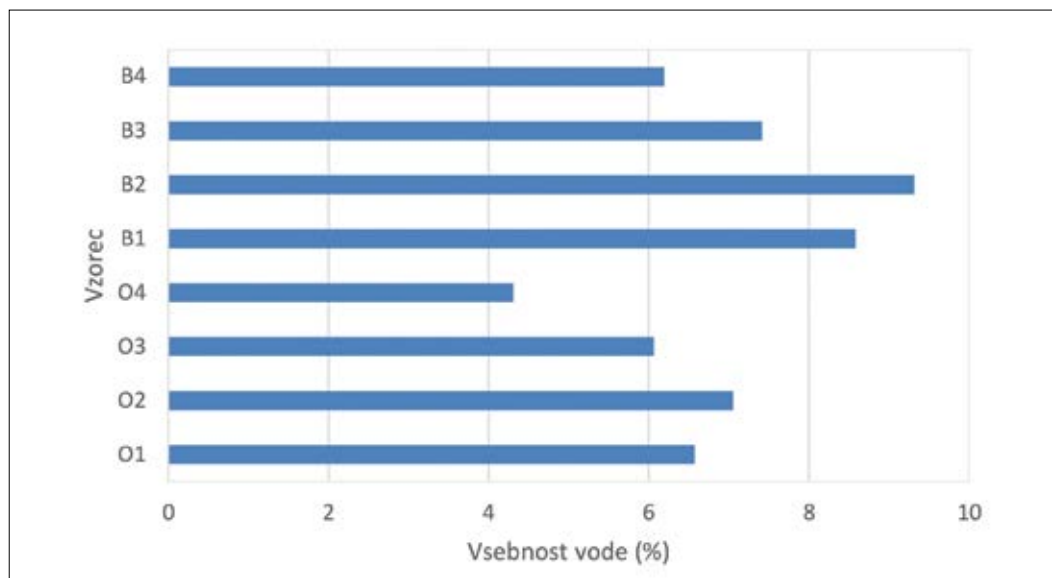
vzorcih lesnega oglja, shranjenih v drvarnici, zunaj pod balkonom bivalnega objekta in v neogrevani garaži. Pri vzorcih briketov lesnega oglja je to veljalo za vzorce, shranjene zunaj pod balkonom bivalnega objekta, v neogrevani garaži in kurilnici. Negativna korelacija pa nastane, ko je

vrednost $r < 0$, kar pomeni, da se s povečevanjem ene spremenljivke druga zmanjšuje. Negativna korelacija je nastala pri vzorcih briketov lesnega oglja, shranjenih v drvarnici, in pri lesnem oglju, shranjenem v kurilnici.

Preglednica 1: Statistična povezava med maso vzorcev in zračno vlago (Pearson's r)

Preglednica 1: Statistical correlation between sample mass and humidity (Pearson's r)

Energent/lokacija	Korelacija (r)	p-vrednost	Interpretacija korelacije	Statistično značilno
Lesno oglje/drvarnica	0,25	0,37	Šibka pozitivna	Ne
Briketi lesnega oglja/drvarnica	-0,38	0,16	Šibka negativna	Ne
Lesno oglje/zunaj	0,54	0,04	Zmerna pozitivna	Da
Briketi lesnega oglja/zunaj	0,64	0,01	Močna pozitivna	Da
Lesno oglje/garaža	0,17	0,54	Zelo šibka pozitivna	Ne
Briketi lesnega oglja/garaža	0,26	0,36	Šibka pozitivna	Ne
Lesno oglje/ kurilnica	-0,06	0,84	Zelo šibka negativna	Ne
Briketi lesnega oglja/kurilnica	0,35	0,20	Šibka pozitivna	Ne



Slika 4: Vsebnost vode v briketih lesnega oglja in lesnem oglju po 14-dnevem skladiščenju na različnih lokacijah. S črko O je označeno lesno oglje, s črko B pa briketi lesnega oglja. S številkami so označene lokacije shranjevanja (drvarnica = 1, zunaj pod balkonom bivalnega objekta = 2, neogrevana izolirana garaža = 3 in kurilnica = 4)

Figure 4: Water content of wood charcoal briquettes and wood charcoal after 14 days storage at different locations. The letter O indicates charcoal and the letter B indicates charcoal briquettes. The numbers indicate the storage locations (woodshed = 1, outside under the balcony of the dwelling = 2, unheated, insulated garage = 3 and boiler room = 4)

3.4 Vsebnost vode v lesnem oglju in briketih lesnega oglja

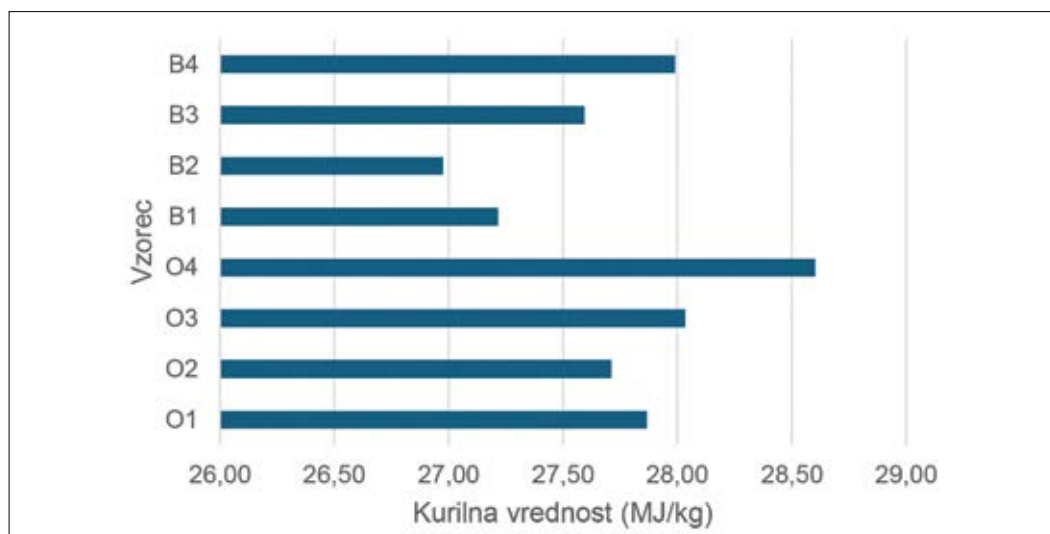
3.4 Water content of wood charcoal and wood charcoal briquettes

Pri obeh kurivih je bila vsebnost vode enako razporejena glede na lokacije shranjevanja (slika 4). Po 14-dnevnem skladiščenju je bilo zaznati najnižjo vsebnost vode pri vzorcih, shranjenih v kurilnici, višja pa pri vzorcih, shranjenih v neogrevani izolirani garaži in drvarnici. Najvišjo vsebnost vode smo zaznali zunaj pod balkonom. Pri lesnem oglju je bila vsebnost vode od 4,3 % do 7,0 %, pri briketih lesnega oglja pa od 6,2 % do 9,3 % (odvisno od lokacije shranjevanja). Na splošno pa je vsebnost vode pri briketih lesnega oglja višja kot pri lesnem oglju, kar kaže na višjo absorpcijsko sposobnost briketov lesnega oglja. Pri lesnem oglju je razlika med najvišjo (7,0 %) in najnižjo (4,3 %) vrednostjo v deležu znašala 38,6 %, pri briketih lesnega oglja pa je razlika med najvišjo (9,3 %) in najnižjo (6,2 %) vrednostjo v deležu znašala 33,3 %.

3.5 Kurilna vrednost lesnega oglja in briketov lesnega oglja

3.5 Calorific value of wood charcoal and wood charcoal briquettes

Kurilne vrednosti vzorcev obeh kuriv so bile glede na lokacije shranjevanja enako razporejene (slika 5). Najnižje kurilne vrednosti smo zaznali pri vzorcih, shranjenih zunaj pod balkonom bivalnega objekta, višje pa pri vzorcih, shranjenih v drvarnici in neogrevani izolirani garaži. Najvišjo kurilno vrednost smo zaznali pri vzorcih, shranjenih v kurilnici. Pri lesnem oglju so kurilne vrednosti znašale od 27,7 MJ/kg do 28,6 MJ/kg, pri briketih lesnega oglja pa od 26,9 MJ/kg do 28,0 MJ/kg (odvisno od lokacije shranjevanja). Na splošno je bila kurilna vrednost ne glede na lokacijo shranjevanja višja pri vzorcih lesnega oglja. Pri lesnem oglju je razlika med najvišjo in najnižjo kurilno vrednostjo znašala 3,14 %, pri briketih lesnega oglja pa 3,93 %.



Slika 5: Kurilna vrednost briketov lesnega oglja in lesnega oglja po 14-dnevnem skladiščenju na različnih lokacijah. S črko O je označeno lesno oglje, s črko B pa briketi lesnega oglja. S številkami so označene lokacije, kje so bili vzorci shranjeni (v drvarnici = 1, zunaj pod balkonom = 2, neogrevana izolirana garaža = 3 in v kurilnici = 4).

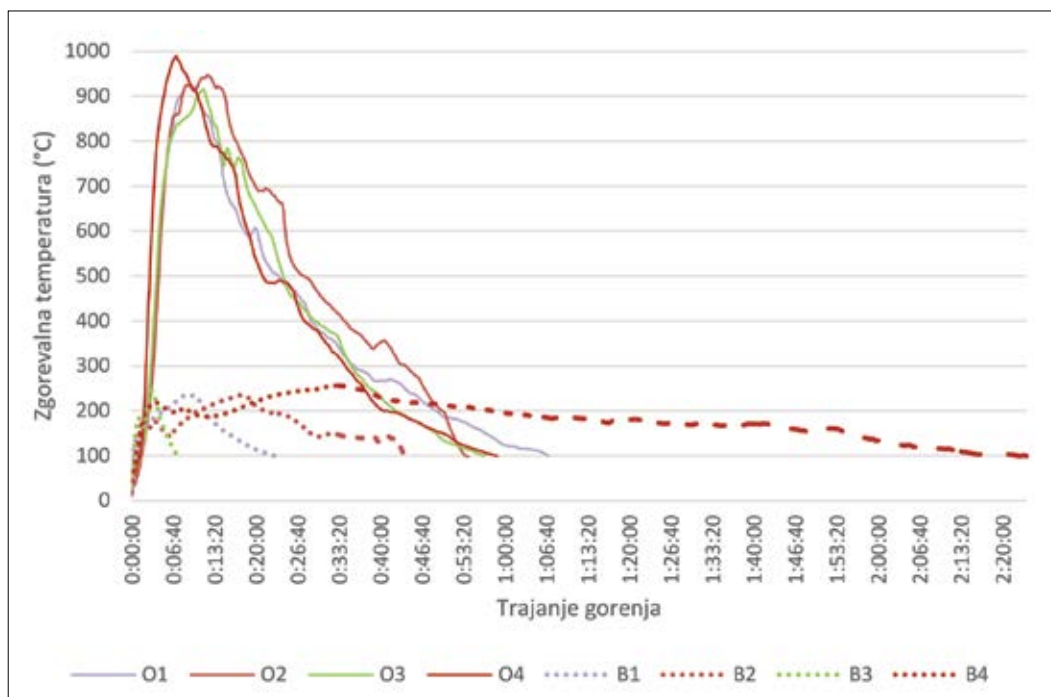
Figure 5: Calorific value of wood charcoal briquettes and wood charcoal after 14 days storage at different locations. The letter O indicates charcoal and the letter B indicates charcoal briquettes. The numbers indicate the locations where the samples were stored (in the woodshed = 1, outside under the balcony = 2, unheated insulated garage = 3 and in the boiler room = 4).

3.6 Temperatura zgorevanja lesnega oglja in briketov lesnega oglja

3.6 Combustion temperature of wood charcoal and wood charcoal briquettes

Na sliki 6 je prikazana temperatura zgorevanja in čas gorenja lesnega oglja ter briketov lesnega oglja. Lesno oglje doseže višje temperature kot briketi lesnega oglja. Najvišjo temperaturo doseže lesno oglje, shranjeno v kurilnici, in sicer 989,6 °C s časom gorenja 58,6 min. Najkrajši čas gorenja je imelo lesno oglje, shranjeno zunaj, saj je gorelo 54 min, doseglo pa je temperaturo 947,4 °C. Vzorca iz drvarnice in garaže sta imela najnižje vrednosti zgorevalne temperature, in sicer je vzorec iz garaže dosegel najvišjo temperaturo 915,2 °C (čas gorenja 56,6 min), vzorec iz drvarnice pa najvišjo

temperaturo 924,3 °C (čas gorenja 67 min). Pri briketih lesnega oglja je najvišjo temperaturo gorenja prav tako dosegel vzorec, shranjen v kurilnici (255,4 °C), in sicer s trajanjem gorenja 143,8 min. To je bil tudi edini vzorec briketov lesnega oglja, ki se je dejansko vnel, kar kaže na velik vpliv vsebnosti vode v energentu v povezavi s sposobnostjo za vžig. Preostali vzorci briketov lesnega oglja se z eno netilno kocko niso vneli, zaradi česar preostali rezultati za brikete lesnega oglja niso reprezentativni; na grafu so sicer vidne krivulje, a je bila temperatura nad 100 °C dosežena le v času gorenja netilne kocke. Razlika med najvišjo (989,6 °C) in najnižjo (915,2 °C) zgorevalno temperaturo je pri lesnem oglju znašala 7,5 %, pri briketih lesnega oglja pa razlike zaradi neustreznega vžiga ne moremo podati.



Slika 6: Zgorevalna temperatura in trajanje gorenja briketov lesnega oglja in lesnega oglja po 14-dnevnem skladiščenju na različnih lokacijah. S črko O je označeno lesno oglje, s črko B pa briketi lesnega oglja. S števkami so označene lokacije, kje so bili vzorci shranjeni (drvarnica = 1, zunaj pod balkonom bivalnega objekta = 2, neogrevana izolirana garaža = 3 in kurilnica = 4)

Figure 6: Combustion temperature and burning duration of charcoal briquettes and charcoal after 14 days storage at different locations. The letter O indicates charcoal and the letter B charcoal briquettes. The numbers indicate the locations where the samples were stored (woodshed = 1, outside under the balcony of the dwelling = 2, unheated insulated garage = 3 and boiler room = 4)

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

Na podlagi raziskave smo ugotovili, da dejavniki iz okolja ključno vplivajo na ohranjanje kakovosti in energetske učinkovitosti lesnega oglja ter briketov lesnega oglja. Briketi lesnega oglja imajo manjšo specifično površino, kljub temu pa absorbirajo več vlage iz okolja, kar negativno vpliva na njihovo kurilno vrednost in sposobnost za vžig. Čeprav govorimo o majhni specifični površini briketov lesnega oglja (površina oboda), pa imajo briketi lesnega oglja dejansko zelo veliko površino, saj so narejeni iz oglenega prahu. En gram aktivnega lesnega oglja (kavršno je v ogleh filtrih) v prahu ima namreč površino, enako 1000 m² (Homšak, b. l.). Takšna površina pa lahko absorbira bistveno večjo količino vode kot osnovna specifična površina. Lesno oglje, na drugi strani, kaže manjšo absorptivno sposobnost kljub enakim razmeram shranjevanja. Iz tega lahko sklepamo, da ima lesno oglje zaradi manjše skupne površine (lesno oglje je kompaktno in ne stisnjeno zdrobljeno oglje in prah, kot so briketi lesnega oglja) nižjo higroskopsnost, kar pomeni, da lahko lesno oglje na prostem pustimo dlje kot brikete lesnega oglja. Davies in Davies (2013) navajata, da na absorpcijsko sposobnost briketov vpliva več dejavnikov. Med najpomembnejšimi so velikost osnovnih delcev pri izdelavi briketov, tlak, pri katerem brikete proizvajajo, in količina vezivnega sredstva, uporabljenega pri proizvodnji. Majhni osnovni delci (do 0,5 mm) sicer glede na rezultate analize nase vežejo manj vode, se pa pri večjih delcih (do 4 mm) pojavlja razpad briketov. Pomembno je tudi izpostaviti, da so bili briketi, uporabljeni v raziskavi, narejeni iz posušenih delov rastlin, ki imajo drugačne absorptivne lastnosti kot lesno oglje. Ker natančnega postopka proizvodnje opazovanega vzorca briketov lesnega oglja ne poznamo, ne moremo navesti točnega vzroka, zakaj so briketi lesnega oglja, v primerjavi z lesnim ogljem, absorbirali več vode.

Najboljše rezultate so dosegli vzorci, shranjeni v suhem in toplem okolju, kot je kurilnica, kjer je bila zračna vlažnost najnižja, temperature pa najvišje. Taki vzorci so imeli najvišjo kurilno vrednost in temperaturo zgorevanja, zaradi česar so energetske

najbolj učinkoviti. Nasprotno so vzorci, shranjeni zunaj, kjer je bila zračna vlažnost najvišja, absorbirali največ vlage, saj smo ugotovili statistično značilno povezavo med povečevanjem zračne vlage in maso vzorcev tako lesnega oglja kot briketov lesnega oglja. Tako so vzorci, ki so bili shranjeni zunaj, vsebovali največ vode, kar je povzročilo zmanjšanje njihove kurilne vrednosti. Ugotovitve so skladne z raziskavo Bennetta in sod. (2024), ki navajajo, da visoka vlažnost okolja negativno vpliva na vsebnost ogljika v lesnem oglju in posledično zmanjšuje njegovo energijsko učinkovitost. Podobno Zam in sod. (2023) izpostavljajo, da so briketi lesnega oglja zaradi svoje višje površinske absorpcije še bolj občutljivi za vplive okolja, kar so potrdile tudi meritve v tej študiji.

Ugotovili smo, da sta se pri vzorcih, v katerih je bila nižja vsebnost vode kot v preostalih vzorcih, ohranili visoka kurilna vrednost in energetska učinkovitost. S povečevanjem vsebnosti vode se manjša energijska vrednost lesa, saj se del energije, ki se sprosti med procesom izgorevanja, porabi za izhlapevanje vode. Za izhlapevanje kilograma vode se porabi 2,44 MJ energije (Krajnc in sod., 2009). Razlike med lesnim ogljem in briketi lesnega oglja smo opazili tudi pri zgorevalnih lastnostih (le pri vzorcih iz kurilnice, drugi vzorci briketov lesnega oglja niso bili reprezentativni), saj je lesno oglje doseglo višje temperature, kljub temu pa so briketi lesnega oglja goreli dlje. Tako lahko sklepamo, da je za hitro pripravo oz. segrevanje žara primernejše lesno oglje, nato pa so glede na potrebo po daljšem načinu peke primernejši briketi lesnega oglja. Pri tem je treba izpostaviti, da smo meritve časa gorenja in zgorevalne temperature opravili na odprtem. Torej ne moremo govoriti o primernosti enega ali drugega energenta za zaprte žare. Ob prižigu se je dejansko vnel le en vzorec briketov lesnega oglja, kar še dodatno kaže na podatek, da so briketi lesnega oglja namenjeni za dodajanje na že predhodno zakurjen žar. Tako briketi lesnega oglja dosežejo svoj končni potencial, ki ga predstavlja dolgo in enakomerno gorenje (Stare in sod. (2024), vendar pri temperaturah, nižjih kot lesno oglje.

Za zagotavljanje optimalne uporabe lesnega oglja in briketov lesnega oglja je ključno pravilno shranjevanje. Najboljše rezultate dosežemo v prostorih

z nizko zračno vlažnostjo in stalno temperaturo, pri čemer lahko uporaba nepropustnih posod za vlago ali dvoslojnih papirnatih vreč z dodatnimi absorpcijskimi materiali dodatno zmanjša tveganje za absorpcijo vlage. Pri tem je treba izpostaviti, da nismo izvajali dodatnih analiz absorpcijske sposobnosti papirnatih vreč za shranjevanje, kar bi bilo v prihodnosti smiselno raziskati. Poleg tega bi bilo smiselno raziskati tudi vpliv zavezovanja vreč (bolj neprodušno zaprto). V naši raziskavi so bile namreč vreče z vzorci odprte, kar je omogočilo hitrejšo navlažitev vzorcev z zračno vlago. Z uporabo papirnatih vreč dodatno zmanjšujemo tudi količino plastičnih odpadkov, saj so v večini primerov že same po sebi izdelane iz recikliranega papirja, ki ga je mogoče ponovno uporabiti. Za potrošnike je pomembno, da pri nakupu izbirajo izdelke, ki so ustrezno pakirani in označeni s standardi kakovosti, saj je vsebnost vlage ključni kazalnik njihove energetske učinkovitosti.

Pomen te raziskave je bil v poudarjanju potreb po nadaljnjih študijah, ki bi se osredotočale na dolgoročne učinke načinov shranjevanja v različnih podnebnih razmerah in razvoj izboljšanih materialov za embalažo. Rezultati prispevajo k boljšemu razumevanju vplivov shranjevanja na lastnosti lesnih goriv za žar in nudijo pomembne smernice za izboljšanje njihove energetske učinkovitosti ter trajnostne uporabe. Z ustreznim shranjevanjem in izbiro primernih energijskih virov lahko potrošniki izboljšajo svojo energetsko učinkovitost in hkrati prispevajo k trajnostnemu ravnanju z naravnimi viri, kamor sodijo tudi lesno oglje in briketi lesnega oglja.

5 VIRI

5 REFERENCES

- Bennett N. 2024. How to store charcoal. Storables.com, Little household auditions for long-lasting happiness. <https://storables.com/articles/how-to-store-charcoal/> (23. 12. 2024).
- Davies R.M., Davies O.A. 2013. Effect of briquetting process variables on hygroscopic property of Water Hyacinth briquettes. Journal of renewable energy, 2013:1. <https://doi.org/10.1155/2013/429230>
- Homšak H. b. I. Vodni filtri. Vodni-filter.si – zastopstvo in prodaja. <https://www.vodni-filter.si/ogleni-filter.html> (16. 1. 2025).
- Imperl M., Podgoršek J., Prah J., Rogelja T., Tielke J.K., Zorčič I. 2021. Oglje je črno zlato. Društvo oglarjev Slovenije. <https://www.drustvo-oglarjev.si/pdf/knjiga-Oglje-je-crno-zlato> (28. 3. 2025).
- Krajnc N., Piškur M., Klun J., Premrl T., Piškur B., Robek R., Mihelič M., Sinjur I. 2009. Lesna goriva – drva in sekanci: proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje. https://www.gozdis.si/f/docs/Publikacije/10_lesna_goriva_prirocnik (28. 3. 2025).
- Mencarelli A., Stare D., Grigolato S., Greco R., Triplat M. 2025. A 4-year assessment of the qualitative characteristics of Slovenian barbecue lump charcoal and its compliance with the EN 1860-2 standard. European journal of wood and wood products, 83:4. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02164-1>.
- Ruiz Aquino F., Ruiz Angel S., Santiago-Garcia W., Fuente Carrasco M.E. 2019. Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in Mexico. Wood research, 64 (1): 71 – 82. https://www.researchgate.net/publication/331595294_ENERGY_CHARACTERISTICS_OF_WOOD_AND_CHARCOAL_OF_SELECTED_TREE_SPECIES_IN_MEXICO (28. 3. 2025).
- SIST EN 1860-2:2023. Naprave, trdna goriva in naprave za vžiganje žara – 2. del: Lesno oglje in briketi lesnega oglja za žar – Zahteve in preskusne metode. 2023.
- Stare D., Prislán P. 2020. Lesno oglje za žar. InfoGozd. <https://wcm.gozdis.si/sl/infogozd/strokovni-prispevki/clanki/2021051012593756/lesno-ogljje-za-zar/> (2. 4. 2025).
- Stare D., Prislán P. 2021. Lesno oglje za žar na slovenskem trgu. InfoGozd. <https://wcm.gozdis.si/sl/novice/2021070209041790/lesno-ogljje-za-zar-na-slovenskem-trgu/> (2. 4. 2025).
- Stare D., Žitko U., Gačo A. 2023. Analiza kakovosti lesnega oglja za žar na slovenskem trgu. InfoGozd. <https://wcm.gozdis.si/sl/novice/2023072809371840/analize-kakovosti-lesnega-ogljja-za-zar-na-slovenskem-trgu/> (2. 4. 2025).
- Stare D., Triplat M., Mencarelli A. 2024. Test oglja in briket za žar. InfoGozd. <https://wcm.gozdis.si/sl/novice/2024071212291610/test-ogljja-in-briket-za-zar/> (23. 12. 2024).
- Zam J.F., Biwole A.B., Biwole Eyinga J.J., Fedoung Fongnzossie E., Bessike G.J., Mouangue R., Mfomo Zobo J. 2024. Determining the quality of wood charcoals as a bioenergy source in humid tropical regions of Central Africa: the effect of carbonized wood and storage time. Biomass Conversion and Biorefinery. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05763-3>.