

# Energetska svojstva biomase ječma u ovisnosti o količini oborina

---

**Grubor, Mateja; Bilandžija, Nikola; Matin, Ana; Bilandžija, Darija; Jurišić, Vanja; Krička, Tajana**

*Source / Izvornik:* **58. hrvatski i 18. međunarodni simpozij agronoma : zbornik radova, 2023, 422 - 426**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:975563>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



# Energetska svojstva biomase ječma u ovisnosti o količini oborina

Mateja Grubor, Nikola Bilandžija, Ana Matin, Darija Bilandžija, Vanja Jurišić, Tajana Krička

*Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, Hrvatska (mgrubor@agr.hr)*

## Sažetak

U nadolazećim godinama proizvodnja energije zahtijevat će sve veće količine biomase te će šumski ostaci, poljoprivredna biomasa i namjenski uzgojeni usjevi biomase igrati ključnu ulogu u procesu proizvodnje goriva. U spomenutu poljoprivrednu biomasu ubraja se i biomasa ječma koji je u Hrvatskoj zastupljena u većim količinama. Stoga je cilj rada prikazati utjecaj količine oborina prilikom uzgoja na energetska svojstva biomase ječma. Istraživanje je pokazalo kako sušna godina utječe na smanjenje nepoželjne komponente pepela, dok na energetska svojstva biomase ječma nema značajan utjecaj.

**Ključne riječi:** proksimativna analiza, ultimativna analiza, slama ječma, sušna godina

## Uvod

Prema najnovijim projekcijama američke Uprave za energetske informacije (EIA), korištenje nafte i drugih tekućih goriva porast će za 38% između 2014. i 2040., a transportni i industrijski sektor trošit će 92% svjetske potrošnje tekućeg plina u 2040. (Sieminski, 2013.; Steve, 2019; US EIA, 2019.). Ova rastuća potražnja povećava interes za proizvodnju goriva iz biomase kao zamjene za fosilna goriva.

Također, s obzirom na kontinuirano širenje svjetske populacije i posljedicu klimatskih promjena, sve je važnije razviti i primijeniti metode održive proizvodnje biomase kako bi se omogućila uspostava rastućeg i održivog biogospodarstva. Zelene tehnologije, uključujući biogoriva i bioproizvode, su među najučinkovitijim strategijama za smanjenje emisija stakleničkih plinova i globalnog zatopljenja, a istovremeno zadovoljavaju energetske potrebe čovječanstva (Antar i sur. 2021.). Biomasa trenutno daje određenu količinu energije mnogim zemljama, međutim prateće tehnologije nisu široko prihvaćene, uglavnom zbog niskih povrata za proizvođače biomase. Biomasa se ubraja u prirodni ne fosilni organski materijal koji sadrži intrinzičnu kemijsku energiju s potencijalom za kompenzaciju emisija fosilnih goriva, koja predstavlja dobru alternativu fosilnim gorivima (Rozzi i sur., 2020.). Alternativno kruto biogorivo, proizvedeno od poljoprivrednih kultura, dio je obnovljivih izvora energije sa zelenim tehnološkim pristupom (Mansora i sur., 2018.).

Pretvorbu lignoceluloznih materijala kao što su celuloza, hemiceluloza i lignin dobiva se druga generacija ili napredna biogoriva (Hayes, 2009). Lignocelulozna biomasa, iako ima nekoliko pozitivnih svojstava, povezana je s raznim nedostacima, kao što su npr. strukturna heterogenost, neujednačena fizikalna svojstva, niska gustoća energije, higroskopna priroda i niska nasipna gustoća (Medic i sur., 2010.). Sve te značajke stvaraju poteškoće u transportu, rukovanju, skladištenju i pretvorbi (Wannapeera i sur., 2011.). U lignocelulozni materijal pripada i slama ječma.

Pretvorba biomase može isporučiti različite vrste proizvoda putem različitih vrsta procesa pretvorbe uključujući toplinske, kemijske i biokemijske procese (Sengupta i Pike, 2012.). Na svaku preradu utječu vrste biomase i njezine fizikalne i kemijske karakteristike. Informacije o svojstvima biomase, uključujući ogrjevnu vrijednost, ultimativa/proksimativna svojstva i strukturne komponente, primijenjene su u nekoliko literaturu za simulaciju opcija za procese pretvorbe biomase. Prema pregledu literature, proksimativna i ultimativna analiza proučavana je u pretvorbi biomase u pogledu energetske primjene kao što su izgaranje, proizvodnja energije i proizvodnja tekućeg goriva (Lan i sur., 2018.).

Proksimativna analiza provodi se kako bi se dobile informacije o sadržaju vlage, vezanog ugljika, hlapljivih tvari i pepela. Također, za elementarni sastav provodi se ultimativna analiza kako bi se dobio sadržaj ugljika, vodika, kisika, dušika i anorganskih vrsta (Nimmanterdwong i sur., 2021.). Međutim, varijacije sastava biomase vidljive su i kod istih kultura, ali u različitim literaturnim navodima, tako npr. pšenična slama u istraživanju Naik i sur. (2010.)

ima puno niži udio pepela od istraživanja provedenog od strane Raj i sur. (2015.). Navedena odstupanja u sastavu biomase moguća su zbog utjecaja vanjskih uvjeta kao što su sunčeva svjetlost, oborine, hranjive tvari u tlu, itd. (Nimmanterdwong i sur., 2021.).

Poboljšanje proizvodnje biomase ne ovisi samo o odabiru usjeva koji dobro funkcioniraju u području gdje će se proizvoditi i uz napredne poljoprivredne prakse, već se mora temeljiti i na prevladavajućim uvjetima okoliša. Klimatske promjene trenutačno su nepredvidljive, a usjevi od interesa suočavat će se s povećanim razinama i učestalostima abiotičkih i biotičkih stresova (Antar i sur., 2021.). Poboljšanje proizvodnje biomase je složeno jer na njega mogu utjecati stresni uvjeti, kao što su suša/poplave i vrućina/hladnoća, čak i oni povezani s prekomjernim unosom gnojidbe (Lyu i sur., 2020.).

Ječam dobro koristi zimsku vodu, rano počinje i ranije završava vegetaciju, pa se u tome sastoji njegova nešto veća otpornost na sušu (Sallam i sur., 2019.). Temeljem svega navedenog cilj rada je prikazati utjecaj količine oborina na energetska svojstva biomase ječma.

### Materijal i metode

Sjetva četiri sorata ječma (rex, barun, lord i panonac) provedena je početkom listopada dok je žetva/uzorkovanje obavljeno krajem lipnja 2021. i 2022. godine na pokusnom polju postavljenom na površini Poljoprivrednog instituta Osijek. Rezultati količine padalina na području grada Osijeka preuzeti su od Državnog hidrometeorološkog zavoda te su prikazani u tablici 1. Tijekom vegetacije 2021./2022. bilo je sušnih razdoblja (siječanj-travanj) prilikom formiranja mase ječma u odnosu na godinu prije.

Tablica 1. Količina oborina na području Osijeka tijekom vegetacije 2020./2021. i 2021./2022.

| mjesec/godina | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII | VIII | IX | X    | XI   | XII  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|------|------|------|
| 2020. (mm)    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -  | 86,5 | 18,0 | 61,4 |
| 2021. (mm)    | 77,5 | 36,3 | 34,4 | 60,7 | 58,9 | 18,4 | -   | -    | -  | 72,9 | 71,0 | 75,6 |
| 2022. (mm)    | 7,5  | 28,7 | 6,4  | 35,0 | 66,0 | 77,2 | -   | -    | -  | -    | -    | -    |

Nakon prirodnog sušenja uzorci biomase 4 sorata ječma su homogenizirani i usitnjeni u laboratorijskom mlinu (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka). Takva mješavina uzorak je analiziran najmanje tri puta kako bi se osigurala ponovljivost analiza.

Proksimativna analiza uključivala je određivanje sadržaja vlage (HRN EN 18134-2:2015), korištenjem laboratorijske sušare (INKO, Hrvatska), pepela (HRN EN ISO 18122:2015) korištenjem muflne peći (Nabertherm, SAD) te sadržaja fiksnog ugljika i hlapljive tvari (EN 15148:2009) koji su izračunati računskim izvođenjem.

Ultimativna analiza uključivala je određivanje ukupnog ugljika, vodika, dušika i sumpora koji su određeni istovremeno metodom suhog izgaranja pomoću analizatora Vario Macro CHNS (Elementar Analysensysteme GmbH, Njemačka), prema protokolima za ugljik, vodik i dušik (HRN EN ISO 16948:2015) i sumpora (HRN EN ISO 16994:2015) dok je udio kisika izračunat iz razlike.

Ogrjevne vrijednosti određene su metodom EN 14918:2010 pomoću adijabatskog kalorimetra (C200, IKA Analysentechnik GmbH, Heitersheim, Njemačka), dok je donja ogrjevna vrijednost izračunata računskom derivacijom. Ogrjevna vrijednost izražena je u MJ/kg.

### Rezultati i rasprava

U tablici 2. prikazani su rezultati proksimativne analize biomase ječma koji uključuju udio vlage, pepela, fiksnog ugljika (C<sub>fix</sub>) i hlapive tvari.

Tablica 2. Proksimativna analiza biomase ječma

| Godina | Vlaga (%) | Pepeo (%) | Cfix (%) | Hlapive tvari (%) |
|--------|-----------|-----------|----------|-------------------|
| 2021.  | 8,68      | 10,36     | 6,46     | 75,08             |
| 2022.  | 9,47      | 7,38      | 8,87     | 75,84             |

Sadržaj vlage je osnovni parametar koji određuje neto energetska sadržaj biomase te istodobno ima značajan utjecaj na ogrjevnu vrijednost i proces izgaranja (Oberberger i Thek, 2004). Osim otežanog izgaranja, veći sadržaj vlage uzrokuje i povećanu emisiju štetnih plinova tijekom procesa izgaranja. Manji udio vlage u 2021. godini moguće je povezati sa manjom količinom padalina u vrijeme žetve. Osim sadržaja vlage, sadržaj pepela također je važna karakteristika čvrste biomase i odnosi se na negorivi sadržaj biomase te je nepoželjan parametar u biomasi zbog katalitičkog utjecaja na toplinskogradnju (Parmar, 2017). Značajno manji sadržaj pepela uočen je u sušnjoj vegetacijskoj godini (2021./2022.) te je iznosio 7,38 %. Dobiveni udjeli vlage i pepela u skladu su s istraživanjima Sedmihradská i sur. (2020) i Sidiras i sur. (2020).

Fiksni ugljik je količina ugljika vezanog u biomasi i predstavlja maseni sadržaj ostataka nakon otpuštanja hlapljivih tvari, isključujući pepeo i vlagu. Veći udio fiksnog ugljika dovodi do veće kvalitete biomase zbog pozitivnog utjecaja na ogrjevnu vrijednost (McKendry, 2002). Također, kao i kod sadržaja pepela bolje karakteristike temeljem udjela fiksnog ugljika primjećene su u sušnjoj vegetacijskoj godini (2021./2022.).

Hlapljiva tvar predstavlja plinovitu fazu koja nastaje toplinskom razgradnjom biomase te omogućava lakše zapaljenje biomase (Caillat i Vakkilainen, 2013). Veći sadržaj hlapljivih tvari smanjuje energetska učinkovitost u slučaju izravnog izgaranja biomase (Magdziarzi sur., 2011). Vegetacijska godina nije imala utjecaj na sadržaj hlapljivih tvari te se udio kretao oko 75% što je u skladu s istraživanjem provedenog od Mitchell i sur. (2020).

U tablici 3. prikazani su rezultati ultimativne analize biomase ječma koji uključuju udio dušika (N), ugljika (C), sumpora (S), vodika (H) i kisika (O).

Tablica 3. Ultimativna analiza biomase ječma

| Godina | N (%) | C (%) | S (%) | H (%) | O (%) |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2021.  | 0,58  | 45,56 | 0,04  | 5,87  | 47,95 |
| 2022.  | 0,62  | 45,70 | 0,04  | 5,85  | 47,79 |

Na temelju ultimativne analize kruta biogoriva sastoje se uglavnom od C, O i H. Veći sadržaj C i H povećava ogrjevnu vrijednost, dok ga veći sadržaj kisika smanjuje (Oberberger i Thek, 2004). Sumporni oksidi (SO<sub>x</sub>) nastaju tijekom izgaranja i značajno doprinose onečišćenju česticama i kiselim kišama (Parmar, 2017). Osim emisija SO<sub>2</sub>, sumpor sadržan u krutom biogorivu također ima značajnu ulogu u procesima korozije (Oberberger i Thek, 2004). Dušik vezan za gorivo uzrokuje većinu emisija NO<sub>x</sub> proizvedenih izgaranjem biomase (Parmar, 2017). Povećani sadržaj dušika u biomasi obično rezultira povećanjem emisija NO<sub>x</sub> tijekom procesa izgaranja (Hartmann, 2012). Na osnovu rezultata našeg istraživanja vegetacijske godine sa različitim raspodjelom oborina nisu imale utjecaj na ultimativna svojstva biomase te su dobivene vrijednosti u skladu sa istraživanjima Mitchell i sur. (2020). i Sidiras i sur. (2020).

U tablici 4 prikazane su ogrijevne vrijednosti biomase ječma.

Tablica 4. Ogrjevna vrijednost biomase ječma

| Godina | HHV (MJ/kg) | LHV (MJ/kg) |
|--------|-------------|-------------|
| 2021.  | 17,43       | 16,14       |
| 2022.  | 17,41       | 16,13       |

Korištenje biomase kao goriva u toplinskim i električnim primjenama zahtijeva poznavanje njezine ogrjevne vrijednosti (Caillat i Vakkilainen, 2013). Donja ogrjevna vrijednost (LHV) je odgovarajuća vrijednost za korištenje energije koja je dostupna za kasniju upotrebu (Oberberger i Thek, 2004). Sušno razdoblje nije imalo utjecaj na ogrijevnu vrijednost biomase ječma te su dobivene vrijednosti u skladu sa istraživanjima Satpathy i sur. (2014).

## Zaključak

Istraživana biomasa ječma uzgojena u različitom vegetacijskom periodu i različitim agroklimatskim uvjetima sličnih je energetske karakteristika te se obzirom na dobivene rezultate proksimativne i ultimativne analize te ogrijevne vrijednosti može se koristiti u proizvodnji krutog goriva.

Pozitivan utjecaj sušnog razdoblja tijekom vegetacije 2021./2022. vidljiv je u smanjenju udjela pepela kao nepoželjne komponente prilikom izravnog izgaranja.

## Napomena

Ovo istraživanje financirano je iz Europskog fonda za regionalni razvoj, unutar programa Konkurentnost i Kohezija 2014. - 2020., u okviru projekta br. KK.05.1.1.02.0016, "Proizvodnja hrane, biokompozita i biogoriva iz žitarica u kružnom biogospodarstvu".

## Literatura

- Antar M., Lyu D., Nazari M., Shah A., Zhou X., Smith D.L. (2021). Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 139: 110691.
- Caillat S., Vakkilainen E. (2013). Large-scale biomass combustion plants: an overview. *Biomass combustion science, technology and engineering*. 189-224.
- Hartmann H. (2012). Solid biofuels, fuels and their characteristics. *Technologie-und Förderzentrum im Kompe. R.A. Meyers (Ed.), Encycl. Sustain. Sci. Technol., Springer New York, New York, NY, 2012: pp. 9821-9851.*
- Hayes D.J. (2009). An examination of biorefining processes, catalysts and challenges. *Catalysis today*. 145 (1-2): 138-151.
- Lan W., Chen G., Zhu X., Wang X., Liu C., Xu B. (2018). Biomass gasification-gas turbine combustion for power generation system model based on ASPEN PLUS. *Science of the total environment*. 628: 1278-1286.
- Lyu D., Backer R., Subramanian S., Smith D.L. (2020). Phytomicrobiome coordination signals hold potential for climate change-resilient agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 11: 634.
- Magdziarz A., Wilk M., Zajemska M. (2011). Modelling of pollutants concentrations from the biomass combustion process. *Chemical and Process Engineering*. 32 (4): 423-433.
- Mansor A.M., Lim J.S., Ani F.N., Hashim H., Ho W.S. (2018). Ultimate and proximate analysis of Malaysia pineapple biomass from MD2 cultivar for biofuel application. *Chemical Engineering Transactions*. 63: 127-132.
- McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*. 83 (1): 47-54.
- Medic D., Darr M., Potter B., Shah A. (2010). Effect of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading. *Pittsburgh, Pennsylvania, 20-23.6.2010 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.*
- Mitchell E.J.S., Gudka B., Whittaker C., Shield I., Price-Allison A., Maxwell D., Williams A. (2020). The use of agricultural residues, wood briquettes and logs for small-scale domestic heating. *Fuel Processing Technology*. 210: 106552.
- Naik S., Goud V.V., Rout P.K., Jacobson K., Dalai A.K. (2010). Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel. *Renewable energy*. 35 (8): 1624-1631.
- Nimmanterdwong P., Chalermainsuwan B., Piumsomboon P. (2021). Prediction of lignocellulosic biomass structural components from ultimate/proximate analysis. *Energy*. 222: 119945.
- Obernberger I., Thek G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and bioenergy*. 27 (6): 653-669.

- Parmar K. (2017). Biomass-An overview on composition characteristics and properties. *IRA-International journal of applied sciences*. 7 (1): 42-51.
- Raj T., Kapoor M., Gaur R., Christopher J., Lamba B., Tuli D.K., Kumar R. (2015). Physical and chemical characterization of various Indian agriculture residues for biofuels production. *Energy and Fuels*. 29 (5): 3111-3118.
- Rozzi E., Minuto F.D., Lanzini A., Leone P. (2020). Green synthetic fuels: renewable routes for the conversion of non-fossil feedstocks into gaseous fuels and their end uses. *Energies*. 13 (2): 420.
- Sallam A., Alqudah A.M., Dawood M.F., Baenziger P.S., Börner A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International journal of molecular sciences*. 20 (13): 3137.
- Satpathy S.K., Tabil L.G., Meda V., Naik S.N., Prasad R. (2014). Torrefaction of wheat and barley straw after microwave heating. *Fuel*. 124: 269-278.
- Sedmihradská A., Pohořelý M., Jevič P., Skoblia S., Beňo Z., Farták J., Hartman M. (2020). Pyrolysis of wheat and barley straw. *Research in Agricultural Engineering*. 66 (1): 8-17.
- Sengupta D., Pike R. W. (2012). *Chemicals from biomass: integrating bioprocesses into chemical production complexes for sustainable development*. CRC Press.
- Sidiras D.K., Nazos A.G., Giakoumakis G.E., Politi D.V. (2020). Simulating the effect of torrefaction on the heating value of barley straw. *Energies*. 13 (3): 736.
- Sieminski A. (2013). *International energy outlook 2013*. US Energy Information Administration (EIA) Report Number: DOE/EIA-0484.
- Steve H. (2019). Soybean Oil Comprises a Larger Share of Domestic Biodiesel Production. *Monthly Energy Review* (March 2019). Washington DC: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Biodiesel Production Report*; 2019.
- US EIA, U. E. I. A. (2019). *Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. Technical Report.
- Wannapeera J., Fungtammasan B., Worasuwannarak N. (2011). Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. 92 (1): 99-105.

## Energy properties of barley biomass depending on agroclimatic conditions

### Abstract

In the coming years, energy production will require increasing amounts of biomass, and forest residues, agricultural biomass and purpose-grown biomass crops will play a key role in the fuel production process. The aforementioned agricultural biomass also includes the biomass of barley, which is represented in larger quantities in Croatia. Therefore, the aim of the paper is to show the influence of the amount of precipitation during cultivation on the energetic properties of barley biomass. The research showed that a dry year affects the reduction of the undesirable ash component, while it has no significant effect on the energetic properties of barley biomass.

**Keywords:** proximate analysis, ultimate analysis, barley straw, dry year