

# Potencjał biowęgla z biomasy odpadowej – studium przypadku województwa wielkopolskiego

## Potential of biochar from waste biomass – a case study of the Wielopolskie Voivodeship

Agnieszka Chwałek, Anna Rolewicz-Kalińska<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** biowęgiel, piroliza, biomasa, odpady, województwo wielkopolskie

### Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest analiza możliwości pozyskania biowęgla z biomasy odpadowej w województwie wielkopolskim. Na podstawie zidentyfikowanych zasobów substratów, będących potencjalnym źródłem produkcji biowęgla (zasoby leśne, rolne, pozostałości z produkcji roślinnej i hodowli zwierzęcej oraz bioodpady dla województwa wielkopolskiego) sporządzono teoretyczny bilans ilościowo-jakościowy, przedstawiający potencjał wykorzystania biowęgla dla tego województwa. Zaprezentowany w artykule bilans na terenie Wielkopolski przedstawił biomasę możliwą do zagospodarowania na cele biowęgla, w ilości około 4 376 270 [ton/rok], w tym największą produktywność osiągnęła biomasa pochodzenia zwierzęcego w ilości około 3 989 401 [ton/rok]. Na podstawie danych literaturowych wyznaczono powolną pirolizę, jako najefektywniejszą technologię obróbki surowców na biowęgiel.

**Keywords:** biochar, pyrolysis, biomass, waste, Wielopolskie Voivodship

### Abstract

The aim of this article is to analyze the possibilities of biochar from waste biomass in the Wielopolskie Voivodeship. Based on the identified resources of substrates that are a potential source of biochar production (forest resources, agricultural resources, residues from plant production and animal husbandry, and bio-waste for the Wielopolskie Voivodeship), a theoretical quantitative and qualitative balance was prepared showing the potential of biochar use for this voivodeship. The analysis presented in the paper showed the biomass possible to be used for biochar purposes in the amount of about 4 288 989 [t/year], of which the highest productivity was achieved by biomass of animal origin in the amount of about 3,989,401 [t/year]. In addition, based on literature data, slow pyrolysis was determined as the most effective technology for processing raw materials for biochar.

## 1. Wprowadzenie

Biowęgiel ma liczne zalety, w porównaniu do wyczerpujących się paliw kopalnianych. Przetwarzanie tego surowca daje możliwość otrzymania paliw ciekłych i gazowych używanych w bioenergetyce jako paliwa odnawialne. Wartość opałowa biowęgla jest porównywalna do węgla kamiennego, jednak biowęgiel zaliczany jest do źródeł energii odnawialnej. Uzyskuje się go z różnych typów biomasy roślinnej, pierwotnej lub odpadowej w procesie pirolizy. Substratami są najczęściej odpady leśne, komunalne, biomasa rolnicza, osady ściekowe i pozostałości z przetwórstwa rolno-spożywczego. Ponadto z biowęgla uzyskuje się domieszkę poprawiającą właściwości gleb poprzez wzrost zawartości węgla, pojemność wodną gruntu, zahamowanie wykorzystywania nawozów i środków ochrony roślin [4]. Pełny potencjał biowęgla nie został jeszcze zweryfikowany, a badania nad jego użyciem w różnych gałęziach przemysłu ciągle trwają. Substraty do produkcji karbonizatu wyselekcjonowane są na podstawie ich właściwości fizykochemicznych takich jak zawartość węgla, wielkość materiału czy procentowa ilość wody. Pod uwagę brana jest również możliwość przyszłego użytku w produkcji energii, a także w produkcji dodatku poprawiającego własności gleb. Inne istotne czynniki to aspekty logistyczne oraz uzyskiwane wartości procesu pirolizy.

Biowęgiel cechuje wysoka zawartość węgla, na poziomie 50-90%, ponadto ilość wody może osiągnąć 1-15%, substancji lotnych 0-40%, a mineralnych 0,5-5%. Proporcja węgla do azotu może się wahać w przedziale od 7 do 500 lub wyżej. Wartość pH biowęgla wskazuje na odczyn neutralny lub zasadowy i waha się w zakresie 4-12, w zależności od charakterystyki substratów i parametrów procesu pirolizy. Przyrost temperatury pirolizy może skutkować zwiększeniem wartości pH. Poziom fosforu, jak i potasu, w składzie biowęgla jest bardzo zróżnicowany. Do właściwości biowęgla, określających możliwości jego użytkowania, zalicza się pojemność jonowymienną oraz gęstość nasypową. W niskiej temperaturze uzyskuje się wysoką pojemnością jonowymienną, natomiast temperatura powyżej 600°C obniża tę właściwość. Gęstość nasypowa biowęgla może być zróżnicowana (w zależności od substratu), np. biowęgiel z odpadów drzewnych może osiągać gęstość nasypową około 250 kg/m<sup>3</sup>, a biowęgiel uzyskany z bambusa około 40 kg/m<sup>3</sup> [4].

## 2. Studium przypadku województwa wielkopolskiego

Województwo wielkopolskie zlokalizowane jest w środkowo-zachodniej części Polski na terenie Pojezierza Wielkopolskiego oraz Niziny

<sup>\*)</sup> Agnieszka Chwałek, Anna Rolewicz-Kalińska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

Południowo wielkopolskiej. Podział administracyjny województwa obejmuje 4 główne miasta na prawach powiatu, w tym Poznań, Konin, Kalisz i Leszno, a także 31 powiatów i 226 gmin. Przedstawione województwo, pod względem zajmowanych obszarów, znajduje się na drugim miejscu w Polsce. Dodatkowo, w oparciu o dane statystyczne ze stycznia 2022 r., województwo wielkopolskie miało 3 491 410 mieszkańców, co uczyniło je trzecim największym obszarem podlegającym województwu, w odniesieniu do liczby ludności w skali kraju (9,3% ludności Polski).

Województwo wielkopolskie uważane jest za jedno z bardziej obfitych terenów w zasoby naturalne. Zalicza się do nich przede wszystkim złoża węgla brunatnego, gazu ziemnego, soli kamiennej oraz torfu. Pierwszy surowiec otrzymywany jest w kopalniach odkrywkowych na obszarze Konina oraz Turku – KWB „Konin” i KWB „Adamów” (ogólne wydobycie równa się około 25% wydobycia krajowego) [5].

## 2.1 Identyfikacja potencjału biomasy

Bilans ilościowo – jakościowy biomasy odpadowej mogącej posłużyć jako surowiec do uzyskania biowęgla w województwie wielkopolskim opracowano na podstawie danych Urzędu Statystycznego w Poznaniu, spisów powszechnych, roczników dla wielkopolski i innych otwartych źródeł informacji.

### Biomasa roślinna

Województwo wielkopolskie zajmuje pierwsze miejsce pod kątem największego terenu pod uprawą w skali kraju. W roku 2020 ich powierzchnia wynosiła 1484 tys. ha. Region ten osiągnął najwyższy stopień zasiewów zbóż, buraków cukrowych oraz ziemniaków. Mimo tego faktu, większość ziem uprawnych w województwie wielkopolskim jest klasyfikowana jako gleby o średniej jakości. Potencjał upraw rolnych w województwie wielkopolskim przedstawia rys. 1. Poza uprawami rolniczymi, źródłem biomasy roślinnej pierwotnej są dedykowane uprawy energetyczne oraz biomasa leśna. W niniejszej analizie przyjęto jednak, że w celu produkcji biowęgla zostanie wykorzystana jedynie biomasa, która nie będzie wykorzystana na cele żywnościowe. Założono, że udział biomasy, która będzie mogła być wykorzystana w produkcji biowęgla wynosi kolejno 10% dla roślin skrobiowych oraz 8% dla roślin oleistych, co dało odpowiednio 824 tys. ton roślin skrobiowych (pszenica, jęczmień, żyto, buraki, owies, pszenżyto, ziemniaki) oraz 24 tys. ton roślin oleistych (głównie rzepak).

Jednym z głównych odpadów z produkcji rolniczej jest słoma, do której zalicza się dojrzałe, pozbawione wody żdźbła roślin zbożowych czy przesuszone łodygi roślin strączkowych, rzepaku i lnu. Słoma najczęściej jest stosowana jako pasza, ściółka lub forma nawozu. Jednak w charakterze biomasy odpadowej może być zagospodarowana jako źródło biowęgla.

O ilości jej nadwyżki decyduje wielkość uprawy, użyźnianie, a także rodzaj produkowanych roślin. Wyliczając masę słomy oraz jej potencjał energetyczny należy go pomniejszyć o masę słomy wykorzystaną w celach rolniczych [2]. Popyt na słomę przetwarzaną w hodowli zwierzęcej na ściółkę i paszę oszacowano, w oparciu o liczebność zwierząt gospodarskich oraz rocznych normatywów dla danych gatunków zwierząt. Skumulowane wartości powierzchni i zbiorów roślin oraz sztuk zwierząt zostały zebrane dla 2020 r. i na tej podstawie oszacowano teoretyczną nadwyżkę w wysokości 498 tys. ton słomy możliwej do wykorzystania na biowęgiel.

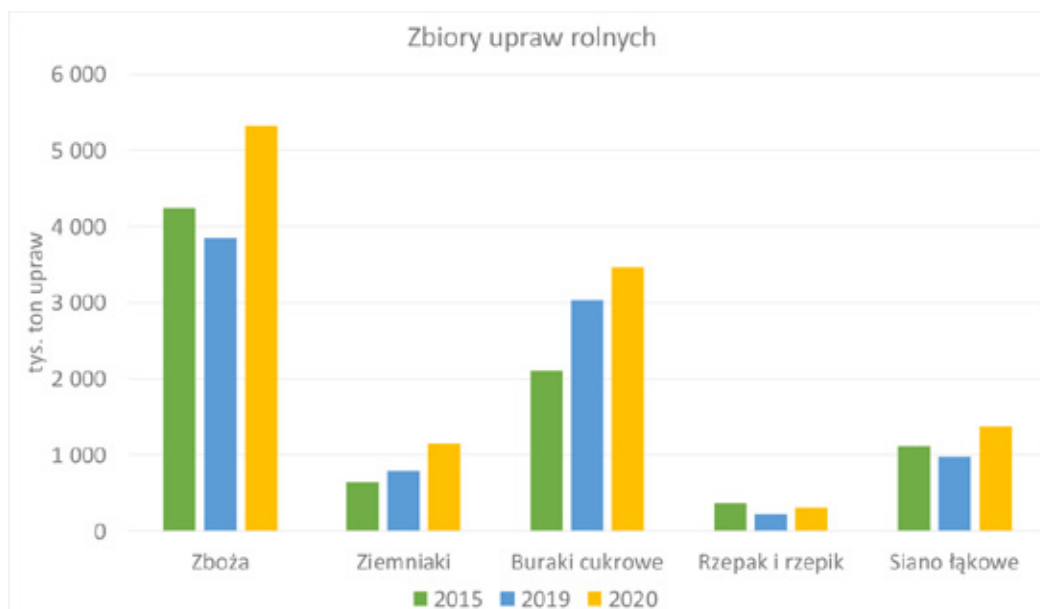
Szacując potencjał do uprawy roślin energetycznych przyjęto założenie, że będą uprawiane na glebach niskiej jakości i zdegradowanych, z uwagi na brak specyficznych predyspozycji glebowych takich jak pH w zakresie od 5,5 do 7,5 czy prawidłowe nawodnienie. Zgodnie z literaturą produkcja roślin energetycznych jest możliwa na glebach III-V klasy jakości oraz tam, gdzie wszędzie tam, gdzie jakość gleby (w tym stężenie zanieczyszczeń) nie pozwala na uprawę roślin jadalnych [9]. W analizie przyjęto, że uprawa będzie obejmowała głównie Ślązowca Pensylwańskiego oraz Miskanta. W województwie wielkopolskim dla roku 2020 powierzchnia gruntów ugorowanych i zdewastowanych wyniosła odpowiednio 11 tys. i 6,1 tys. ha. Założono, że maksymalne wykorzystanie gruntów zdewastowanych to 60%. Dla przyjętych założeń i wskaźników uzysku plonu Ślázowca pensylwańskiego (10,7 ton s.m./ha) oraz Miskanta (17,7 ton s.m./ha) otrzymano prognozę możliwego potencjału tych roślin do produkcji biowęgla – 183 tys. ton s.m. Ślázowca i 303 tys. ton s.m. Miskanta. Obie rośliny mają wysoki potencjał energetyczny wyrażony wartością opałową na poziomie 18-19 GJ/tonę s.m [8].

Kolejnym źródłem biomasy roślinnej w województwie wielkopolskim jest biomasa leśna. Zasobność biomasy drewna w regionie ocenia się na około 350 000 m<sup>3</sup>, jednak 41% obszarów lasów Wielkopolski zalicza się do obszarów chronionych. W związku z powyższym przyjęto, że w takiej sytuacji biomasa leśna nie jest wystarczająca do spożytkowanie jej w celach przemysłowych jak i do produkcji karbonizatu.

### Biomasa pochodzenia zwierzęcego

Rozpatrując biomasę odpadową z produkcji zwierzęcej, pod uwagę brany jest obornik i gnojownica. Województwo wielkopolskie dysponuje znaczącą ilością hodowli pogłównia, wobec czego powstałe produkty uboczne z całą mogą zostać wykorzystane jako substrat do produkcji biowęgla, uwzględniając jedna priorytet wykorzystania jako naturalny środek ochrony roślin oraz nawóz.

Na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu udzielania pomocy finansowej na dostosowanie gospodarstw rolnych do standardów Unii



Rys. 1. Całkowity potencjał biomasy z upraw rolnych dla województwa wielkopolskiego dla lat 2015-2020 [6]

Fig.1. The total potential of biomass from agricultural crops for the Wielkopolskie Voivodeship for the years 2015-2020 [3].

Europejskiej objętej planem rozwoju obszarów wiejskich (Dz.U. 2005 nr 17 poz. 142) wyznaczono współczynnik produkcji obornika przez poszczególne rodzaje zwierząt na płytkiej ściółce, będącej systemem utrzymania hodowli. Dane zostały sformułowane w tonach na rok. W celu oszacowania pozostałych ilości obornika uwzględniono różnice między powstałym obornikiem w ciągu roku, a jego zużyciem na cele nawozowe. Do obliczeń wykorzystano dane dla 2020 r. oraz założenie, iż 50% obornika zostanie zagospodarowane jako biogęgiel. Tab. 1 prezentuje zbilansowane wartości obornika dla bydła, trzody chlewnej, owiec oraz drobiu.

W oparciu o sporządzoną analizę rocznie na obszarze województwa wielkopolskiego do użycia w produkcji biogęgiela możliwe jest przeznaczanie 14,2 mln ton obornika rocznie.

### Biopadpy komunalne

W oparciu o dane z Planu gospodarki odpadami dla województwa wielkopolskiego na lata 2016-2022 przedstawiono prognozę wzrostu masy biopadpów komunalnych do 2030 r. Oszacowana masa biopadpów

dla 2020 r. wyniosła 63 397 ton. Zgodnie z prognozą zauważalny jest wzrost selektywnie zebranych odpadów komunalnych w województwie. Na przestrzeni 13 lat postęp ten zwiększał się o około 9% rocznie. Zakłada się, że nawet do 90% biopadpów komunalnych będzie można wykorzystać do produkcji biogęgiela, co dla 2020 r. daje 57 057 ton biopadpów.

### 2.2 Obliczenie potencjału biogęgiela w województwie

Na podstawie literatury [3] i przedstawionych danych, dotyczących potencjału biomasy, oszacowano możliwy do uzyskania potencjał biogęgiela w województwie wielkopolskim. Dodatkowo przeliczono ich możliwy zakres do wykorzystania w produkcji biogęgiela, uwzględniając przy tym użycie surowców do innych celów energetycznych oraz spożytkowania w rolnictwie w postaci kompostu lub nawozu. W tab. 2 zaprezentowane są dane dotyczące zdolności pozyskania biogęgiela w Wielkopolsce, który dla analizowanego przypadku oszacowano na 4 288 989 ton.

Tabela 1. Ilość obornika po hodowli zwierząt w 2020 r [opracowanie własne]

Table 1. Table 1 Amount of animal manure in 2020 [own work]

Rodzaj hodowli		Liczba sztuk	Produkcja obornika z jednej sztuki [t/rok]	Produkcja obornika [t]	Ilość obornika po uwzględnieniu użycia celów nawozowych [t/rok]
Bydło	krowy	319 871	10	3 198 710	1 599 355
	pozostałe	782 910	6,9	5 402 079	2 701 040
Trzoda chlewna	lochy	243 925	3,7	902 523	451 261
	pozostałe	3 825 671	3,2	12 242 147	6 121 074
Owce	maciorki	14 759	0,8	11 807	5 904
	pozostałe	10 042	0,8	8 034	4 017
Drób	nioski	17 435 400	0,1	1 743 540	871 770
	pozostałe	26 170 760	0,2	4 920 103	2 460 051
SUMA		48 803 338	-	28 428 942	14 214 471

Tabela 2. Potencjał biomasy i biogęgiela w województwie wielkopolskim, oszacowanie dla 2020r. [opracowanie własne]

Table 2. Potential of biomass and biochar in the Wielkopolskie Voivodeship, estimation for 2020 [own work]

Pozostałości	Zasoby biogęgiela [t]	Dostępność [%]	Wilgotność [%]	Sucha masa [t]	Potencjał biogęgiela [t]
<b>Pozostałości rolnicze</b>	<b>1 016 385</b>			<b>863 927</b>	<b>287 256</b>
<i>Pszonica</i>	126 703	100	15	107 698	35 809
<i>Żyto</i>	56 316	100	15	47 869	15 916
<i>Jęczmień</i>	55 719	100	15	47 361	15 748
<i>Owies</i>	13 468	100	15	11 448	3 806
<i>Pszonżyto</i>	111 512	100	15	94 785	31 516
<i>Mieszanki zbożowe</i>	29 528	100	15	25 099	8 345
<i>Kukurydza na ziarno</i>	137 937	100	15	117 246	38 984
<i>Ziemiaki</i>	114 190	100	15	97 062	32 273
<i>Buraki cukrowe</i>	346 548	100	15	294 566	97 943
<i>Rzepak i rzepik</i>	24 464	100	15	20 794	6 914
<b>Pozostałości zwierzęce</b>	<b>28 428 943</b>			<b>11 998 199</b>	<b>3 989 401</b>
<i>Bydło</i>	5 402 079	50	13	2 358 007	784 037
<i>w tym krowy</i>	3 198 710	50	13	1 396 237	464 249
<i>Trzoda chlewna</i>	12 242 147	50	13	5 343 697	1 776 779
<i>w tym lochy</i>	902 523	50	13	393 951	130 989
<i>Owce</i>	8 034	50	25	3 013	1 002
<i>w tym maciorki</i>	11 807	50	25	4 428	1 472
<i>Drób</i>	4 920 103	50	25	1 845 039	613 475
<i>w tym nioski</i>	1 743 540	50	25	653 828	217 398
Biopadpy komunalne	63 397	90	35	37 087	12 332
SUMA					4 288 989

Tabela 3. Szacowany uzysk biowęglu dla województwa wielkopolskiego dla różnych rodzajów biomasy w zależności od przeprowadzonego typu pirolizy [opracowanie własne dla danych z 2020 r.]

Tab. 3. Estimated yield of biochar for the Wielkopolskie Voivodship for various types of biomass depending on the type of pyrolysis performed [own work]

Proces	Szacowany uzysk biowęglu [%]	Uzyskana ilość biowęglu w procesie pirolizy z biomasy [ton/rok]				
		Uprawy skrobiowe	Uprawy energetyczne	uprawy roślinne (rzepak)	biomasa zwierzęca	bioodpady
Szybka piroliza	12	28 963	16 490	830	478 728	1 480
Umiarkowana piroliza	20	48 272	27 483	1 383	797 880	2 466
Powolna piroliza	35	84 475	48 095	2 420	1 396 290	4 316

### 2.3. Koncepcja i główne kierunki wykorzystania biowęglu w województwie wielkopolskim

Ze względu na coraz większe zainteresowanie wykorzystaniem biowęglu w wielu obszarach gospodarki, zwiększyło się zapotrzebowanie na technologie konwersji biomasy do biowęglu. Konwersja termochemiczna jest znanym procesem wytwarzania biowęglu, do której kwalifikuje się pirolizę, hydrotermalną karbonizację, gazyfikację i toryfikację. W celu otrzymania jak najwyższej wydajności należy dobrać taką technikę, która nie tylko jest odpowiednia do użytego substratu biomasy, ale również ma optymalne warunki szybkości ogrzewania, temperatury czy czasu przebywania [10]. Bioenergetyczne technologie przemysłowe uwzględniają pirolizę, zgazowanie i podgrzewanie wsadu biomasy w nadzorowanych warunkach, do wytworzenia palnego gazu syntezowego oraz oleju zwanego bio-olejem. Produkty te można wykorzystać, aby uzyskać ciepło, energię elektryczną czy ciepło skojarzone, ale również moc. Biowęgiel, pozostałość bogata w węgiel stanowi trzeci palny produkt otrzymany w procesie suchej destylacji [7].

Piroliza może być traktowana jako alternatywne rozwiązanie, służące do przeróbki biomasy odpadowej w wartość dodaną produktów. W trakcie przetwarzania części lignocelulozowej, w której skład wchodzi celuloza, hemiceluloza i lignina, biorą udział różne procesy w zależności od zastosowanej temperatury, takie jak depolimeryzacja, fragmentacja i sieciowanie. Przyczynia się to do uzyskania różnego stanu (stały, płynny, gazowy) produktów. Węgiel drzewny i bio-olej zaliczane są do kategorii płynnej, natomiast dwutlenek węgla, tlenek węgla, wodór oraz gaz syntezowy to wyroby gazowe [10]. Biomasa odpadowa do służąca do przetwarzania na biowęgiel jest obszerna i dosyć różnorodna. Surowce te ulegają pirolizie w instalacjach gospodarskich czy specyficznych instalacjach przemysłowych. Piroliza jest najczęstszym procesem przeróbki termicznej biomasy do biowęglu, wyróżnia się jej trzy rodzaje z różnymi parametrami [5]:

- szybka piroliza – 500°C, czas przebywania 1 s, zyskuje 12% biowęglu,
- umiarkowana piroliza – 500°C, czas przebywania 10-20 s, 20% biowęglu,
- powolna piroliza – 500°C, czas przebywania 5-30 min, 35% biowęglu.

Tab.3 przedstawia trzy typy pirolizy i przeliczone wartości każdego uzyskanego rodzaju biomasy dla całego województwa wielkopolskiego na 2020 r.

Z tab. 3 wynika, iż największa zawartość biomasy otrzymywana jest dla procesu powolnej pirolizy, a także że znacząca masa biowęglu wytworzona jest z biomasy odpadowej zwierzęcej typu obornik czy gnojownica.

### 3. Podsumowanie i wnioski

Celem niniejszego artykułu była analiza możliwości wytwarzania i wykorzystania biowęglu dla studium przypadku województwa wielkopolskiego i pokazanie teoretycznego potencjału tego zasobu jako alternatywy dla energii ze źródeł kopalnych i mając na uwadze wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym. Województwo wielkopolskie jest jednym z lepiej rozwijanych się przemysłowo i gospodarczo województw w Polsce. Znajduje się ono w czołówce pod względem uprawy roślin oraz hodowli zwierząt, stąd można oczekiwać, iż przełoży się to na potencjał zasobów biowęglu. Z przedstawionych w pracy obliczeń i założeń teoretycznych można szacować, że potencjał biomasy mogącej stanowić źródło produkcji biowęglu wynosi około 4 288 989 ton/rok. Dla każdego rodzaju biomasy zrobiono ponadto analizę powiatów województwa wielkopolskiego o naj-

większym potencjale produkcyjnym i zasobach, co pozwoliło zidentyfikować obszary województwa szczególnie predysponowane do pozyskania określonych rodzajów biomasy:

- biomasa roślinna – skrobiowa: poznański, gnieźnieński i kaliski,
- biomasa roślinna – energetyczna: poznański, rawicki i czarnkowsko-trzcianecki,
- biomasa roślinna – oleista: poznański, gnieźnieński i wągrowicki,
- biomasa odpadowa zwierzęca: rawicki, krotoszyński i gostyński,
- bioodpady komunalne: poznański, miasto Poznań i gnieźnieński.

Dominującymi rodzajami biomasy są biomasa pochodzenia zwierzęcego w wielkości około 4 mln ton/rok, następnie biomasa roślinna skrobiowa 241 tys. ton/rok i możliwa do zagospodarowania biomasa z uprawy roślin energetycznych 137 tys. ton/rok. Z zebranych typów pirolizy: szybkiej, umiarkowanej i powolnej największym udziałem otrzymanego biowęglu charakteryzowała się piroliza powolna. Proces ten przetwarza biomasę w biowęgiel w wysokości 35 %. Z zestawionych frakcji ulegających biodegradacji dla województwa wielkopolskiego największą ilość otrzymała materia zwierzęca odpadowa 1 396 290 ton/rok, dalej rośliny skrobiowe 84 475 ton/rok oraz biomasa roślin energetycznych 48 095 ton/rok. Województwo wielkopolskie odznacza się znacznym potencjałem gospodarki opartej na biowęglu, jednak należałoby wprowadzić pewne zmiany, w których surowce odpadowe nie będą przeznaczane w innych konkurencyjnych celach niż wyrób biowęglu. Wskazane jest również uwzględnienie przeznaczenia odpowiedniej ilości terenów pod budowę instalacji do procesu pirolizy. ■

### LITERATURA

- [1] Chwałek Agnieszka.2022. „Koncepcja technologiczna wytwarzania i wykorzystania biowęglu dla regionu wielkopolskiego”. Praca dyplomowa magisterska
- [2] Gafka Karolina , Dorota Janiszewska. 2017. „Możliwości Wykorzystania słomy Na Cele Energetyczne W województwie Pomorskim”. Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych 1 (20):83-95. <https://zeszyty.wne.tu.koszalin.pl/index.php/zeszyty/article/view/50>.
- [3] Kutlu Ozben, Kocak Gunnur. 2022. “Biochar from residual biomass in Turkey, and possibility of return to the soil: an estimation of the supply and demand. Polish Journal of Agronomy”. 30, 30 (Aug. 2022), 10–24. DOI:<https://doi.org/10.26114/pja.iung.303.2017.30.02>.
- [4] Malińska Krystyna. 2012. „Biowęgiel odpowiedzią na aktualne problemy ochrony środowiska” Inżynieria i Ochrona Środowiska 15(4) :387-403.
- [5] Oficjalna strona internetowa Urzędu Statystycznego w Poznaniu <https://poznan.stat.gov.pl/zakladka-1/> [dostęp: 09 marca 2022].
- [6] Rocznik Statystyczny Wielkopolski. 2021, Rolnictwo, Główny Urząd Statystyczny, <https://poznan.stat.gov.pl/publikacje-i-foldery/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-województwa-wielkopolskiego-2021,2,17.html>
- [7] Sohi S., Lopez-Capel E., Krull E. 2009. „Biochar, climate change and soil: A review to guide future research”, CSIRO Land and Water Science Report 05/09 February .
- [8] „Stan i ochrona środowiska w województwie wielkopolskim w 2020 r.”, Urząd Statystyczny w Poznaniu, 2021. <https://poznan.stat.gov.pl/opracowania-biezace/opracowania-sygnalne/ochrona-srodowiska/stan-i-ochrona-srodowiska-w-województwie-wielkopolskim-w-2020-r-,1,16.html>
- [9] Stańczyk Krzysztof i Ludwik Magdalena. 2003. „Uprawy roślin energetycznych – możliwości zagospodarowania nieużytków i użytków rolnych, na których produkcja rolnicza jest nieopłacalna” Prace Naukowe GIG górnictwo i środowisko, tom 3 :71-81.
- [10] Yaashikaa, P R et al. “A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy.” Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands) vol. 28 e00570. 21 Nov. 2020, doi:10.1016/j.btre.2020.e00570