

Dr inż. Ewa Golisz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ORCID: 0000-0003-4042-1961

e-mail: ewa\_golisz@sggw.edu.pl

Dr inż. Andrzej Bryś

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ORCID: 0000-0001-9429-676X

e-mail: andrzej\_brys@sggw.edu.pl

# Możliwości wykorzystania odpadów z terenów zieleni miejskiej na cele energetyczne

*Possibilities of using green waste from urban green areas for energy purposes*

## Streszczenie

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną celowe wydaje się poszukiwanie i wykorzystanie nowych źródeł energii odnawialnej. Biomasa jest najszerzej wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii. Obok powszechnie stosowanych rodzajów biomasy, jak drewno czy rośliny energetyczne, także odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej, np. skoszona trawa, zebrane liście czy odpady zdrewniałe mogą służyć do celów energetycznych. Celem artykułu jest prezentacja możliwości zagospodarowania odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej Warszawy. W pracy oszacowano ilość odpadów zielonych możliwą do pozyskania oraz określono potencjał energetyczny tej biomasy.

## Słowa kluczowe:

biomasa, odpady zielone, energia odnawialna, zieleni miejska

## Abstract

Due to the growing demand for electricity, it seems advisable to explore and use new sources of renewable energy. The most widely used renewable energy source is biomass. In addition to commonly used types of biomass, such as wood or energy crops, waste from the care of urban greenery, such as mowed grass, collected leaves, or wood waste, can be used for energy purposes. The aim of the paper is to present the possibilities of managing waste from the maintenance of urban greenery in Warsaw. In the paper the possible amount of obtained green waste as well as the energy potential of this biomass is estimated.

## Keywords:

biomass, green waste, renewable energy, urban green

JEL: O13, P28, Q42

## Wprowadzenie

Szybki postęp cywilizacyjny oraz techniczny, jaki ma miejsce w XXI w., doprowadził do ogromnego zapotrzebowania na energię elektryczną przy coraz szybciej wyczerpujących się paliwach tradycyjnych, takich jak ropa, gaz, węgiel. Przy obecnym tempie eksploatacji paliw kopalnych, które pokrywają około 80% światowego zapotrzebowania na energię (Hosseini, Wahid, 2014), ich zasoby w przyszłości nie wystarczą do spełnienia naszych potrzeb energetycznych, dlatego przyszłością dla świata mogą być odna-

wialne źródła energii, do których zaliczamy energię słoneczną, wiatru, wody, geotermalną oraz energię z biomasy.

Biomasa jest najstarszym i najszerzej wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii. Można ją przekształcić w różnego rodzaju biopaliwa lub energię, wykorzystując szereg procesów, w tym procesy termiczne, fizyczne i biologiczne (Victor i in., 2010; Al-Hamamre i in., 2017). W 2015 r. odsetek energii odnawialnej w światowym zużyciu energii końcowej wyniósł około 14%, z czego tradycyjna biomasa stanowiła około 9% i była jednym z głównych źródeł

energii odnawialnej. Przewiduje się, że w 2050 r. udział energii z biomasy osiągnie 50% (Baul i in., 2018).

Dyrektywa Unii Europejskiej z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, podobnie jak polska ustawa z 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, określają biomasę jako ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, w tym substancje roślinne i zwierzęce, leśnictwa i powiązanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych, komunalnych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego oraz miejskich.

W Polsce biomasa jest podstawowym źródłem energii odnawialnej obok energetyki wiatrowej. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2018 r. pochodziła w przeważającym stopniu z biopaliw stałych (69,26%), energii wiatru (12,40%) i z biopaliw ciekłych (10,20%) (GUS, 2019). Polska posiada znaczne zasoby biomasy technicznie nadające się do zastosowania energetycznego, które pod względem ilości przewyższają wszystkie pozostałe zasoby energii odnawialnej, z wyjątkiem promieniowania słonecznego (Mirowski i in., 2018).

Obok powszechnie wykorzystywanych rodzajów biomasy (drewno, rośliny energetyczne), istnieje wiele innych materiałów mogących służyć do celów energetycznych. Należą do nich zarówno odpady z gospodarstw domowych, jak i pozostałości po pielęgnacji zieleni miejskiej, opadające liście, trawa czy gałęzie drzew (Kołodziej i Matyka, 2012; Głowacki i in., 2013a).

## Odpady z terenów zieleni miejskiej

Zgodnie z ustawą z 31 stycznia 1980 r. o ochronie i kształtowaniu środowiska przez „zieleni miejską” rozumie się zespoły roślinności spełniające cele wypoczynkowe, zdrowotne i estetyczne, a zwłaszcza: parki, zieleńce, zieleń na placach, ulicach, zieleń izolacyjną i pracownicze ogrody działkowe. Odpady zielone to wszystkie odpady pochodzące z pielęgnacji roślin, takie jak: zgrabione liście, skoszona trawa, usunięte drobne gałęzie drzew, kwiaty lub chwasty. Odpady te powstają od wczesnej wiosny do późnej jesieni, a ich zagospodarowanie jest niezwykle ważne pod względem ekonomicznym i ekologicznym. Istotne jest również uzyskanie zadowalających poziomów ograniczenia ich składowania. W większości materiał ten po zebraniu jest wywożony na wysypiska odpadów i tam składowany lub podlega kompostowaniu, jednakże biomasa ta mogłaby zostać zagospodarowana jako źródło energii. Charakterystyczną cechą odpadów zielonych jest to, iż powstają one regularnie i w spo-

rych ilościach w ciągu roku. Odpady te traktuje się jako odpady komunalne ulegające biodegradacji. Stanowią one jedną z podstawowych frakcji odpadów, które są odbierane prosto z terenów nieruchomości lub zbierane przez specjalnie do tego zatrudnione firmy z terenów publicznych (parki, zieleńce, tereny między osiedlami, ulice). W zakresie gospodarki odpadami komunalnymi ulegającymi biodegradacji w *Krajowym planie gospodarki odpadami 2022* jako cel w 2020 r. przyjęto zmniejszenie ilości odpadów zielonych kierowanych na składowiska, tak aby nie deponować ich więcej niż 35% (uchwała nr 88). Pozostałe odpady zielone powinny być utylizowane w inny sposób.

Problem związany z pozyskiwaniem czy zagospodarowaniem odpadów z zieleni miejskiej jest poruszany w wielu krajach. Oceną przydatności produktów ubocznych z utrzymania zieleni miejskiej z perspektywy energetycznej zajmowano się np. we Włoszech, gdzie biomasę tę uznaje się za odpady niebezpieczne, które należy odpowiednio przetwarzać i usuwać (Ferla, 2020). W USA zauważa się, że biomasa z produktów ubocznych z utrzymania zieleni miejskiej jest niewykorzystanym zasobem i potrzebne są dalsze badania, aby w pełni poznać jej potencjał (Springer, 2012). W Niemczech odpady z zieleni miejskiej nie są wykorzystywane, raczej płaci się firmom za ich usuwanie (Meisel i Thiele, 2014). W Hiszpanii dostrzega się możliwości pozyskania biomasy uzyskanej z pielęgnacji roślin ozdobnych oraz przycinania drzew miejskich (Sajdak i in., 2014a; Sajdak i in., 2014b; Velázquez-Martí i in., 2013). W Ekwadorze badacze oceniali wykorzystanie biomasy z pozostałości po przycinaniu drzew figowych powszechnie uprawianych jako rośliny ozdobne w miastach (Pérez-Arévalo i in., 2018).

Analizując wielkość terenów zielonych znajdujących się w dużych metropoliach, można przypuszczać, że ilość produkowanych tam odpadów zielonych jest bardzo duża. Dlatego celem pracy było przedstawienie możliwości pozyskania oraz zagospodarowania biomasy z terenów zieleni miejskiej na przykładzie Warszawy oraz oszacowanie potencjału energetycznego tej biomasy.

## Pozyskiwanie biomasy w Warszawie

Ponad 20 tys. ha powierzchni Warszawy, uważanej za jedną z najbardziej zielonych stolic Europy, to tereny zieleni. Stanowią one prawie połowę powierzchni miasta, a dokładnie 42,2% (Biuro Ochrony Środowiska Urzędu m.st. Warszawy, 2016). Jest to zieleń przy drogach i ciągach komunikacyjnych, czyli drzewa, krzewy, rabaty kwiatowe i trawniki oraz parki i lasy miejskie<sup>1</sup>. Biorąc pod uwagę, jak duży jest to obszar, ilość odpadów zielonych, które są na nim wy-

Tabela 1

Powierzchnia terenów zieleni miejskiej ogólnodostępnej i osiedlowej w 2018 r. [ha]

Dzielnica	Parki spacerowo-wypoczynkowe	Zieleńce	Zieleń uliczna	Zieleń osiedlowa	Cmentarze
Warszawa	918,3	234,6	1447,4	2155,7	381,7
Bemowo	24,3	0,5	74,1	146,7	–
Białołęka	12,2	12,6	194,6	110,3	3,9
Bielany	32,2	23,8	22,0	135,8	151,1
Mokotów	114,4	34,0	189,6	458,5	9,5
Ochota	98,0	2,0	67,0	170,3	–
Praga Płd.	98,6	9,1	44,0	233,2	–
Praga Płn.	18,7	7,9	86,1	33,5	–
Rembertów	–	2,2	29,9	0,3	6,5
Śródmieście	154,1	69,0	95,2	65,8	–
Targówek	29,2	5,0	107,8	157,7	123,5
Ursus	11,1	6,9	16,0	65,4	1,7
Ursynów	93,4	1,7	146,4	214,3	10,0
Wawer	–	2,6	100,6	16,3	15,0
Wesoła	2,2	11,0	10,5	3,8	3,1
Wilanów	82,0	3,9	30,3	29,2	4,8
Włochy	32,7	6,1	18,5	124,0	11,4
Wola	63,4	20,4	118,7	128,8	15,2
Żolibórz	51,7	16,0	96,1	61,7	26,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Urząd Statystyczny w Warszawie, 2019.

tworzane i zbierane, jest znacząca, a niezagospodarowane mogą przysparzać ogromnych problemów ze składowaniem. Do odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej zaliczamy skoszoną trawę, ścinki drzew i krzewów, ściętą zieleń przydrożną, pozostałości po roślinach sezonowych oraz liście.

Biuro Ochrony Środowiska Urzędu m.st. Warszawy opracowało w 2016 r. *Program ochrony środowiska dla m.st. Warszawy na lata 2017–2020 z perspektywą do 2023 r.*, w którym można znaleźć informacje, że powierzchnia terenów zieleni miejskiej ogólnodostępnej i osiedlowej m.st. Warszawy w 2014 r. wynosiła 4612,1 ha. Odnotowano wówczas nieznaczną zmianę w stosunku do 2009 r. Według danych Urzędu Statystycznego w Warszawie pod koniec 2018 r. obszar zieleni ogólnodostępnej i osiedlowej zajmował powierzchnię ok. 5000 ha (Urząd Statystyczny w Warszawie, 2019). W jego skład wchodziły parki, zieleńce, zieleń przyuliczna i osiedlowa. Ważną rolę w strukturze zieleni Warszawy pełnią również tereny rolne, łąki i pastwiska (powierzchnia 14 285 ha, tj. 27,6%). Szczegółowe informacje dotyczące powierzchni terenów zielonych w podziale na dzielnice przedstawia tabela 1. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że największą część terenów zielonych, z których można uzyskać największe ilości biomasy, stanowi zieleń osiedlowa, następnie zieleń uliczna, parki i zieleńce.

Zieleń miejska w Warszawie podlega różnym jednostkom administracyjnym. Główną jednostką zarządzającą jest Biuro Ochrony Środowiska podlegające

Urzędowi Miasta Stołecznego Warszawy. Ponadto każda z dzielnic ma we własnym urzędzie wydział (ochrony środowiska lub infrastruktury), który nadzoruje tereny zieleni znajdujące się w obszarze danej dzielnicy. Sprawami zieleni zajmuje także Zarząd Zieleni m.st. Warszawy (ZZW), Zarząd Terenów Publicznych czy Zarząd Cmentarzy Komunalnych, a lasami znajdującymi się w Warszawie (których powierzchnia wynosi około 7200 ha) zarządzają Lasy Miejskie Warszawa<sup>2</sup>.

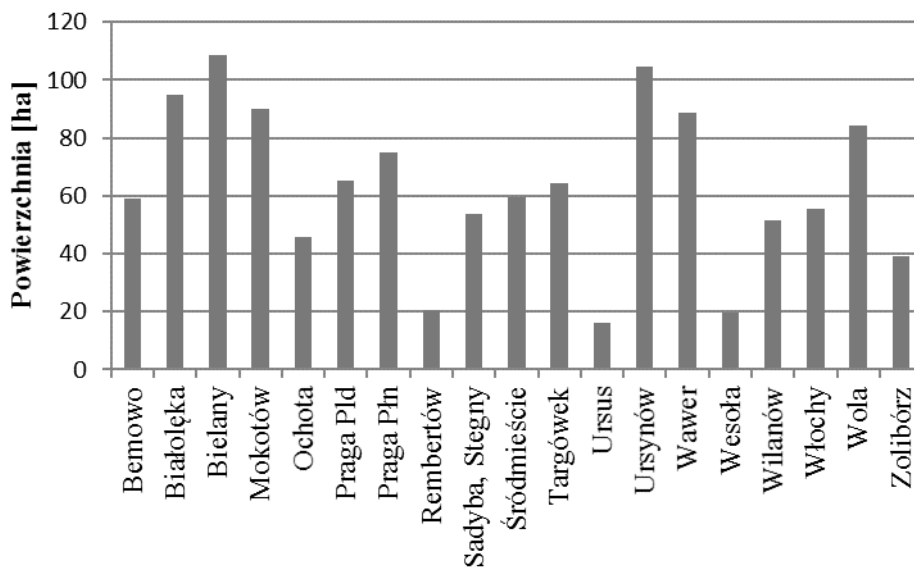
Tereny zieleni osiedlowej są bardzo rozdrobnione i podlegają pod różne spółdzielnie czy wspólnoty, dlatego trudno określić ilości zbieranych tam odpadów zielonych.

Należy zaznaczyć, że tereny zieleni występujące we wspomnianym opracowaniu (Urząd Statystyczny w Warszawie, 2019) w większości przypadków dotyczą zieleni zarządzanej przez dzielnice. I tak np. w ich gestii pozostaje pielęgnacja zieleni ulicznej, czyli znajdującej się przy drogach gminnych, natomiast za tzw. zieleń przyuliczną, czyli obszary zieleni przy drogach wojewódzkich, powiatowych i krajowych, odpowiada Zarząd Zieleni m.st. Warszawy, pod którego opieką znajduje się obecnie ok. 1200 ha<sup>3</sup>. Zielenią na pętlach warszawskiej komunikacji miejskiej zajmuje się Zarząd Oczyszczania Miasta (ZOM).

Ponieważ różne tereny podlegają różnym jednostkom administracyjnym, trudno dokładnie oszacować, jakie ilości odpadów zielonych można uzyskać z terenu całego miasta. W pracy przedstawiono dane doty-

Rysunek 1

Wielkości obszarów poddawanych koszeniu w poszczególnych dzielnicach Warszawy



Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji bezpośredniej z Zarządu Oczyszczania Miasta.

czące głównie obszarów zieleni przyulicznej oraz parków (znajdujących się obecnie pod nadzorem Zarządem Zieleni m.st. Warszawy) przekazane przez Zarząd Oczyszczania Miasta w 2016 r. ZOM zajmował się tym terenem do 1 lipca 2017 r. Obecnie ZZW nie prowadzi ewidencji ilości skoszonej trawy czy zbieranych liści, ale — jak wynika z analizy — obszar działań się nie zmienił, więc można przypuszczać, że także ilości zbieranych odpadów zielonych są podobne.

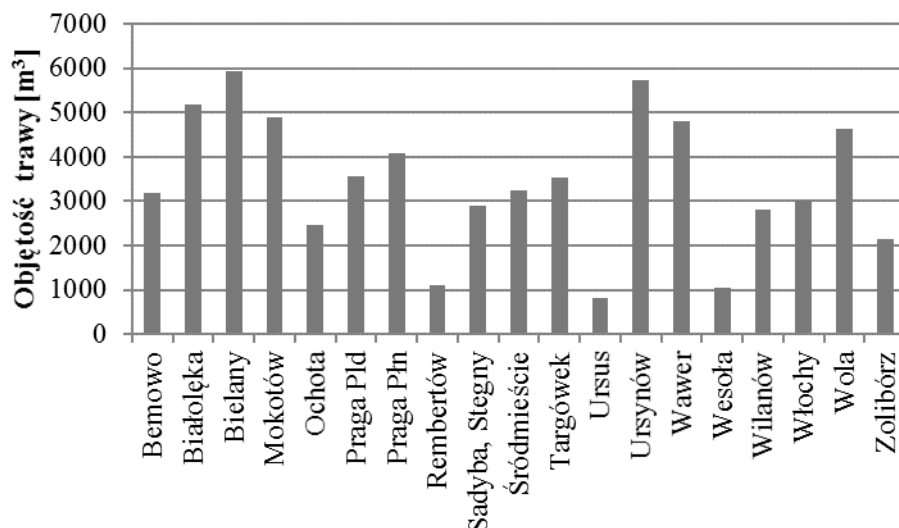
Na rysunku 1 przedstawiono wielkości powierzchni, które były poddawane koszeniu przez

Zarząd Oczyszczania Miasta w 2016 r. (obecnie Zarząd Zieleni m.st. Warszawy), a na rysunku 2 ilości pozyskanej trawy w poszczególnych dzielnicach Warszawy.

Łączny obszar poddawany koszeniu przez Zarząd Oczyszczania Miasta wynosił ok. 1200 ha. To dokładnie tyle, ile obecnie jest pod opieką Zarządu Zieleni m.st. Warszawy. Największe tereny poddawane koszeniu występują w dzielnicach: Bielany (108 ha), Ursynów (104 ha) oraz Białołęka (95 ha). Z tego względu w dzielnicach tych zebrano największe ilości tra-

Rysunek 2

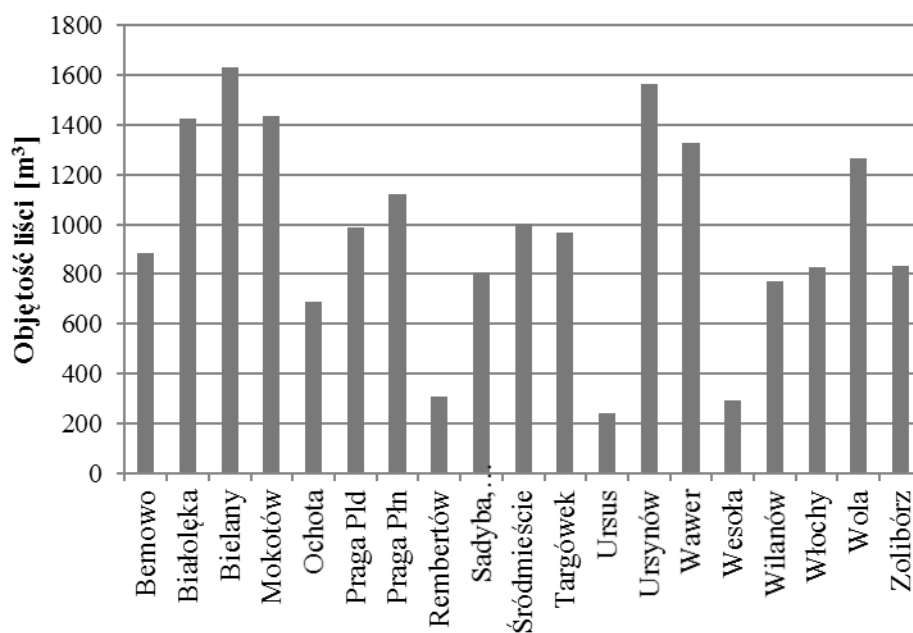
Ilość pozyskanej biomasy w postaci skoszonej trawy z poszczególnych dzielnic Warszawy



Źródło: jak rysunku 1.

Rysunek 3

Ilość pozyskanej biomasy w postaci liści w Warszawie z podziałem na dzielnice



Źródło: jak rysunku 1.

wy: na Bielanych (5920 m<sup>3</sup>), na Ursynowie (5720 m<sup>3</sup>) i Białołęce (5170 m<sup>3</sup>). Łącznie podczas całego sezonu z tych terenów można uzyskać około 59 350 m<sup>3</sup> biomasy w postaci skoszonej trawy.

W kolejnych latach te liczby mogą się nieco różnić w zależności od ilości opadów, ale średnio można przyjąć takie dane dla każdego roku.

Ze względu na ilość istotnym odpadem zielonym są również liście. W porównaniu z trawami nie występują tak licznie i sezon na pozyskanie tego odpadu jest krótszy. Jednak odbywa się to przy mniejszym nakładzie energii. Na rysunku 3 przedstawiono dane o ilości pozyskanej biomasy w postaci liści z terenów zieleni ulicznej w Warszawie w 2016 r., udostępnione przez Zarząd Oczyszczania Miasta<sup>4</sup>. Łączna powierzchnia, która jest poddawana grabieniu, wynosi ok. 1225 ha. Z tego obszaru podczas prac w sezonie można pozyskać łącznie ok. 18 400 m<sup>3</sup> liści. Podobnie jak w przypadku pozyskanej trawy, najwięcej liści zbiera się tam, gdzie obszar zielony jest największy, a mianowicie: na Bielanych (1633 m<sup>3</sup>), Ursynowie (1566 m<sup>3</sup>) i Białołęce (1425 m<sup>3</sup>).

Odpady zielone to nie tylko trawa i liście, ale także odpady drzewne oraz inne odpady roślinne. Te ostatnie stanowią jednak niewielką część zbieranych odpadów zielonych. Na podstawie danych udostępnionych przez firmę Testa zajmującą się konserwacją zieleni miejskiej w jednej z dzielnic Warszawy, można stwierdzić, że w okresie wiosenno-letnim w pozyskanej biomacie największy udział mają trawy (80–90%), natomiast w okresie jesiennym liście

(75–85%)<sup>5</sup>. Odpadki drzewne stanowią od 3 do 10%, a inne odpady roślinne od 3 do 9% w zależności od terminu zbioru.

## Zagospodarowanie odpadów zielonych

Odpady zielone po zebraniu w większości są wywożone na wysypiska odpadów i tam składowane. Ograniczenie składowania frakcji ulegających biodegradacji należy do najważniejszych zadań gospodarki odpadami komunalnymi (Szpadt, 2012). Odpady z terenów zielonych aglomeracji miejskich mogą być zagospodarowane na cele energetyczne i nawozowe (Witaszek i in., 2013).

Najbardziej powszechną formą zagospodarowania odpadów zielonych jest ich kompostowanie. Jest ono naturalną metodą zagospodarowania odpadów i należy do ważnych kierunków odzysku i recyklingu organicznego odpadów (Bożym i in., 2014). Kompostowanie jest najbardziej ekologiczne oraz najmniej uciążliwe dla środowiska (Czop i Żydek, 2017). Polega na rozkładzie substancji organicznych przez mikroorganizmy. W wyniku kompostowania otrzymujemy gotowy nawóz, który może być wykorzystany do rekultywacji terenów zniszczonych, lasów, parków oraz zieleni miejskiej. Wystarczy samemu zbudować własny kompostownik, dzięki któremu można samodzielnie kompostować odpady zielone. Przynosi to

znaczne korzyści ekonomiczne (bezpłatny nawóz), praktyczne (wytworzenie nawozu na miejscu bez dodatkowych czynności) oraz ekologiczne (redukowanie ilości odpadów zielonych) (Kucharczyk i Stępień, 2010). Przekompostowana masa zielona może być sprzedawana firmom ogrodniczym jako ziemia kompostowa lub jako materiał do wzbogacenia gleby, np. przy zakładaniu trawników. W badaniach składu chemicznego mas roślinnych z różnych powierzchni zieleni warszawskiej stwierdzono stosunkowo małe zawartości metali ciężkich, co kwalifikuje odpady roślinne z tych terenów do produkcji dobrej jakości kompostu (Madej i in., 2010).

Spalanie odpadów zielonych i pozyskiwanie na tej drodze energii jest obok składowania i kompostowania kolejną metodą zagospodarowania tego materiału. Spalanie bezpośrednie jest najprostszym sposobem wykorzystania energetycznego, ale można rozważyć wykorzystanie biomasy jako materiału energetycznego przy współspalaniu z węglem. Odpady zielone, które można zagospodarować na cele energetyczne, mogą być w postaci liści, skoszonej trawy czy zdrewniałych resztek drzew. Do spalania w celu uzyskania ciepła można wykorzystywać biomasę w postaci rozdrobnionej albo w postaci brykietów lub peletów.

Innym sposobem wykorzystania odpadów zielonych może być produkcja biogazu. Z wymienionych wcześniej bioodpadów najlepiej nadaje się do tego trawa, ponieważ liście z reguły są zanieczyszczone glebą, co stwarza problemy technologiczne w instalacjach biogazowych. Trawa zbierana z terenów zielonych może być stosowana na bieżąco jako wsad do biogazowni (Witaszek, 2013).

## Potencjał energetyczny biomasy w Warszawie

Jak wynika z przedstawionych wcześniej danych, podstawowym odpadem z terenów zielonych Warszawy jest skoszona trawa. Z powierzchni 1200 ha można zebrać średnio w roku ok. 59 tys. m<sup>3</sup> trawy, co oznacza, że z 1 ha zbiera się średnio 49 m<sup>3</sup> tej biomasy. W przeliczeniu na masę daje to ok 5 t/ha trawy rocznie.

Według różnych źródeł wartość opałowa traw wynosi: 16–18 MJ/kg s.m. (Murawski in., 2015), trawy z koszenia poboczy dróg — 14,1 MJ/kg s.m. (Mirowski i in., 2018), trawy łąkowej — 16,5–17,5 MJ/kg (Alberski i in., 2015; Mirowski i in., 2018). Natomiast wartość opałowa peletu z trawy wynosi 14–16,3 MJ/kg (Głowacki i in., 2013b; Witaszek i in., 2013), peletu z trawy trawnikowej — 14,5 MJ/kg (Kornacki, Maj, 2011), peletu z siana łąkowego — 15,25 MJ/kg (Kraszkiewicz i in., 2013). Ciepło uzyskiwane ze spalania peletów z trawy ma zatem wartość od 15,5 do

16,5 MJ/kg. Wartość opałowa peletu zależy od materiału, z jakiego został wyprodukowany, jak również od wilgotności materiału i technologii produkcji. Dla porównania wartość opałowa węgla kamiennego według różnych źródeł wynosi 22–32 MJ/kg, średnio 25 MJ/kg (Lewandowski i Rym, 2013). Optymalna wilgotność materiału przeznaczonego do procesu peletowania wynosi od 11 do 13%.

Wspomniany obszar 1200 ha to głównie teren zieleni przyulicznej. Jeśli dodamy do tego powierzchnie parków i zieleńców, możemy przyjąć, że w Warszawie jest ok. 2400 ha, z których można pozyskać ok. 12 000 t trawy. Po zagęszczeniu trawy potencjał energetyczny tej biomasy, przyjmując najniższą wartość opałową traw, można określić na ok. 170 TJ rocznie.

Z terenów zieleni miejskiej w okresie jesiennym wywożone są ogromne ilości liści, które, podobnie jak trawa, mogą być źródłem energii po spalaniu. Zalegające liście stanowią problem w aglomeracjach miejskich. Zwykle materiał ten jest zbierany i wywożony na wysypiska. Wartość opałowa liści zależy przede wszystkim od ich gatunku, stopnia rozdrobnienia, wilgotności i zawiera się w zakresie 12–18 MJ/kg (Witaszek i in., 2013; Kosowska-Golachowska i in., 2016; Pietras 2017). Wysoka zawartość wody powoduje zmniejszenie wartości opałowej biomasy, a tym samym ilości ciepła uzyskiwanego podczas jej spalania (Niedziółka i Szpryngiel, 2014). Wartość średnia ciepła ze spalania liści wynosi średnio 14 MJ/kg dla liści w postaci brykietów i 15,3 MJ/kg dla liści w postaci rozdrobnionej (Dziewanowska i Dobek, 2006). Mankamentem biomasy w postaci liści jest szeroki przedział wilgotności oraz ilości energii możliwej do pozyskania z określonej objętości surowca. Biomasa roślinna w stanie nieprzetworzonym charakteryzuje się stosunkowo małą gęstością, utrudniającą jej transport, magazynowanie i wykorzystanie w praktyce. Stąd zachodzi konieczność jej zagęszczenia, np. do postaci peletów lub brykietów (Pietras, 2017). Wartość opałowa peletu z liści wynosi od 12 do 17 MJ/kg w zależności od gatunku liści (Dziewanowska i Dobek, 2009).

Z analizy przedstawionych danych dotyczących pozyskania biomasy w Warszawie wynika, że z 1 ha powierzchni można pozyskać 15 m<sup>3</sup> liści. Biorąc pod uwagę cały obszar terenów zielonych Warszawy, z którego zbiera się liście, czyli parki, zieleńce, zadrzewiony obszar zieleni ulicznej, można przyjąć, że powierzchnia ta wynosi ok. 2000 ha. Jeśli założymy, że z 1 ha zbiera się ok 6 t liści, to potencjał energetyczny tej biomasy można oszacować na 180 TJ rocznie.

Porównując wartości ciepła ze spalania i wartość opałową odpadów zielonych i np. węgla kamiennego, trzeba zauważyć, że są one prawie dwukrotnie wyższe dla paliwa kopalnego. Nie powinno to jednak być przeszkodą w wykorzystaniu odpadów zielonych do spalania po ich odpowiednim przygotowaniu. Poza

trawą i liśćmi surowcem energetycznym mogą być odpadki drzewne czy inne odpadki roślinne, których objętość stanowi ok. 12% wszystkich odpadów zielonych, a więc ich potencjał energetyczny będzie dużo mniejszy.

## Podsumowanie

Tereny zieleni miejskiej zajmują w Warszawie ponad 20 ha powierzchni, co stanowi ok. 40% całej powierzchni miasta. Odpady zielone z terenów miejskich w większości trafiają na wysypiska odpadów i tam są składowane. Alternatywnym sposobem ich zagospodarowania jest kompostowanie i spalanie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy oszacowano potencjał biomasy (pochodzącej z trawy i liści) pozyskanej z terenów zieleni w Warszawie na 350 TJ rocznie. Jeżeli uwzględnimy potencjał energetyczny z odpadów drzewnych (ok. 12% potencjału biomasy z trawy i liści), to całkowity potencjał biomasy możliwej do pozyskania z terenów zieleni miejskiej w Warszawie wyniesie ok. 390 TJ rocznie. Aż 43,6% potencjału energetycznego pozyskanego z pielęgnacji zieleni miejskiej w Warszawie pochodzi ze skoszonej trawy, 46,2% z liści, a pozostałe 10,2% z odpadów zdrewniałych.

W celu dokonania ekonomicznej opłacalności wykorzystania biomasy z terenów zieleni miejskiej należałoby przeprowadzić analizę finansową każdego procesu pozyskiwania tych odpadów.

## Przypisy/Notes

<sup>1</sup> Dane Zarządu Oczyszczania Miasta, <http://zom.waw.pl/zielen-przyuliczna>

<sup>2</sup> <http://lasymiejskie.waw.pl/>

<sup>3</sup> Informacja bezpośrednia z Zarządu Zieleni m.st. Warszawy, <http://zzw.waw.pl/>

<sup>4</sup> Informacja bezpośrednia.

<sup>5</sup> Informacja bezpośrednia z firmy Testa.

## Bibliografia/References

### Literatura/Literature

- Alberski, J., Olszewska, M., Bałuch-Malecka, A., Kurzeja, M. (2015). Wartość energetyczna biomasy z użytkowanych ekstensywnie łąk warkalsko-trojańskich. *Łąkarstwo w Polsce*, 18, 7–16.
- Al-Hamamre, Z., Saidan, M., Hararah, M., Rawajfeh, K., Alkhasawneh, H. E., Al-Shannag, M. (2017). Wastes and biomass materials as sustainable-renewable energy resources for Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 67, 295–314. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.035>
- Baul, T. K., Dattaa, D., Alamb A. (2018). A comparative study on household level energy consumption and related emissions from renewable (biomass) and non-renewable energy sources in Bangladesh. *Energy Policy*, 114, 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.037>
- Biuro Ochrony Środowiska Urzędu m.st. Warszawy (2016). *Program ochrony środowiska dla m.st. Warszawy na lata 2017–2020 z perspektywą do 2023 r.* Warszawa.
- Bożym, M., Drózd, N., Siemiątkowski, G. (2014). Zawartość makroelementów i ich form przyswajalnych w kompostach produkowanych z odpadów zielonych. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 7(18), 150–161.
- Czop, M., Żydek, K. (2017). Badanie wartości nawozowej wybranych kompostów z odpadów zielonych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 19(1), 39–52.
- Dziewanowska, M., Dobek, T. (2009). Energetyczna i ekologiczna ocena procesu pozyskiwania ciepła podczas spalania liści zbieranych na terenach miejskich. *Inżynieria Rolnicza*, 1(110), 115–122.
- Dziewanowska, M., Dobek, T. (2006). Wartości cieplne wybranych gatunków drzew zbieranych na terenach zabudowanych. *Acta Agrophysica*, 8(3), 551–558.
- Ferla, G., Caputo, P., Colaninno, N., Morello, E. (2020). Urban greenery management and energy planning: A GIS-based potential evaluation of pruning by-products for energy application for the city of Milan. *Renewable Energy*, 160, 185–195. [doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.105](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.105)
- Głowacki, S., Bazylak, W., Sojak, M. (2013a). Zieleń miejska, jako źródło biomasy wykorzystywanej na cele energetyczne. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 44(5), 206–209. <https://doi.org/10.15199/9.2016.8.5>
- Głowacki, S., Bazylak, W., Sojak, M. (2013b). Potencjał energetyczny biomasy możliwej do pozyskania z terenów zieleni miejskiej Warszawy. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 44(6), 288–290.
- GUS (2019). *Energia ze źródeł odnawialnych w 2018 r.* Warszawa <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/energy/energy-from-renewable-sources-in-2018,3,11.html> (1.08.2020).
- Hosseini, S. E., Wahid, M. A. (2014). Utilization of palm solid residue as a source of renewable and sustainable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 621–632. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.214>
- Kołodziej, B., Matyka, M. (2012). *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Warszawa: PWRiL.
- Kornacki, A., Maj, G. (2011). Wybrane właściwości peletów wytworzonych z trawy pozyskanej z trawnika przydomowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(126).
- Kosowska-Golachowska, M., Wolski, K., Gajewski, W., Kijo-Kleczkowska, A., Musiał, T., Środa, K. (2016). Spalanie biomasy agro i leśnej w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej. *Rynek Energii*, 3(124), 90–99. <https://doi.org/10.7862/rm.2014.42>
- Kraszkiewicz, A., Kachel-Jakubowska, M., Szpryngiel, M., Niedziółka, I. (2013). Analiza wybranych cech jakościowych peletów wytworzonych z surowców roślinnych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(143), 167–173.

- Kucharczyk, K., Stępień, W. (2010). Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, (42), 240–254.
- Lewandowski, W., Rym, M. (2013). *Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa: WNT.
- Madej, M., Siuta, J., Wasiak, G. (2010). Zieleń warszawy źródłem surowca do produkcji kompostu. Część II. Skład chemiczny mas roślinnych z różnych powierzchni zieleni warszawskiej. *Inżynieria Ekologiczna*, (23), 22–35.
- Meisel, F., Thiele, N. (2014). Where to dispose of urban green waste? Transportation planning for the maintenance of public green spaces. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 64, 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.03.012>
- Mirowski, T., Mokrzycki, E., Uliasz-Bocheńczyk, A. (2018). *Energetyczne wykorzystanie biomasy*. Kraków: Wydawnictwo IGSMiE PAN.
- Murawski, M., Grzelak, M., Waliszewska, B., Kniola, A., Czekala, W. (2015). Wartość energetyczna i plonowanie łąk ekstensywnie użytkowanych. *Fragmenta Agronomica*, 32(2), 71–78.
- Niedziółka, I., Szpryngiel, M. (2014). Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne. *Inżynieria Rolnicza*, 1(149), 155–164.
- Pérez-Arévalo, J. J., Velázquez-Martí, B. (2018). Evaluation of pruning residues of *Ficus benjamina* as a primary biofuel material. *Biomass and Bioenergy*, 108, 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.11.017>
- Pietras, E. (2017). Analiza możliwości wykorzystania wybranych składników biomasy w kontekście ich własności energetycznych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 20(1), 59–70.
- Sajdak, M., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I. (2014a). Quantitative and qualitative characteristics of biomass derived from pruning *Phoenix canariensis* hort. ex Chabaud. and *Phoenix dactylifera* L. *Renewable Energy*, 71, 545–552. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.004>
- Sajdak, M., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Fernández-Sarriac, A., Estornell J. (2014b). Prediction models for estimating pruned biomass obtained from *Platanus hispanica* Münchh. used for material surveys in urban forests. *Renewable Energy*, 66, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.005>
- Springer, T. L. (2012). Biomass yield from an urban landscape. *Biomass and Bioenergy*, 37, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.029>
- Szpadt, R. (2012). *Problemy gospodarki odpadami komunalnymi ulegającymi biodegradacji*. Wrocław: Politechnika Wrocławska.
- Urząd Statystyczny w Warszawie (2019). *Panorama dzielnic Warszawy w 2018 r.* Warszawa.
- Velázquez-Martí, B., Sajdak, M., López-Cortés, I. (2013). Available residual biomass obtained from pruning *Morus alba* L. trees cultivated in urban forest. *Renewable Energy*, 60, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.001>
- Victor, K. W., Sancho, A., Silvio, H., Luiz, F. S. (2010). Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. *Bioresour. Technology*, 101, 4415–4422. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.101>
- Witaszek, K., Pilarski, K., Janczak, D., Czekala, W., Lewicki, A., Rodríguez Carmona, P. C., Dach, J., Mazur, R. (2013). Możliwości zagospodarowania odpadów zielonych z terenów aglomeracji miejskich na cele energetyczne i nawozowe. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 15(4), 21–28. <https://doi.org/10.12775/gpos.2014.032>

### Akty prawne/Legal acts

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- Uchwała nr 88 Rady Ministrów z 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 (M.P. 2016, poz. 784).
- Ustawa z 31 stycznia 1980 r. o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz.U. 1980, nr 3 poz. 6).
- Ustawa z 7 czerwca 2018 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2018, poz. 1276).

### Strony internetowe/Web sites

- Lasy miejskie Warszawa, <https://www.lasymiejskie.waw.pl/index.php/lasy/lasy-warszawy>
- Zarząd Oczyszczania miasta, <http://zom.waw.pl/zielen-przyuliczna>
- Zarząd Zieleni m.st. Warszawy, <http://zzw.waw.pl/>

#### Dr inż. Ewa Golisz

Doktor inżynier nauk rolniczych, adiunkt w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Prowadzi zajęcia dydaktyczne na Wydziale Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie między innymi z przedmiotów: inżynieria systemów, metody prognozowania, mechanika. Zainteresowania naukowe: suszarnictwo, modelowanie procesów suszenia produktów rolniczych, metoda Monte Carlo, odnawialne źródła energii, biopaliwa.

#### Dr inż. Ewa Golisz

Ph. D. in agricultural sciences, assistant professor at the Institute of Mechanical Engineering at the Warsaw University of Life Sciences-SGGW. She conducts classes at the Faculty of Production Engineering at the Warsaw University of Life Sciences, among others, in the following subjects: systems engineering, forecasting methods, mechanics. Research interests: drying, modelling of drying processes for agricultural products, Monte Carlo method, renewable energy sources, biofuels.

#### Dr inż. Andrzej Bryś

Doktor inżynier nauk rolniczych, adiunkt w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Prowadzi zajęcia dydaktyczne na Wydziale Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie między innymi z przedmiotów: mechanika, wytrzymałość materiałów. Zainteresowania naukowe: suszarnictwo, modelowanie procesu suszenia drewna, odnawialne źródła energii, biomasa, mechanika, logistyka.

#### Dr inż. Andrzej Bryś

Ph. D. in agricultural sciences, assistant professor at the Institute of Mechanical Engineering at the Warsaw University of Life Sciences-SGGW. He conducts classes at the Faculty of Production Engineering at the Warsaw University of Life Sciences, among others, in the following subjects: mechanics, strength of materials. Research interests: drying, wood drying process modelling, renewable energy sources, biomass, mechanics, logistics.