



Wykorzystanie potencjału biomasy i biogazu jako odnawialnych źródeł energii w województwie podkarpackim

Exploitation of biomass and biogas potential as renewable energy sources in Podkarpackie Voivodship

Opracowanie merytoryczne

Content-related works

Urząd Statystyczny w Rzeszowie. Ośrodek Ośrodek Statystyki Energii i Rynku Materiałowego
Statistical Office in Rzeszów. Centre for Materials and Fuel Energy Market Statistics

Dział Metodologii i Badań Rynku Energii

Methodology and Surveys of Energy Market Division

pod kierunkiem

supervised by

Marek Cierpiął-Wolan

Zespół autorski

Editorial team

Dariusz Twaróg, Beata Rajca, Katarzyna Kapica

Tłumaczenie

Translation

Mirosław Koszela

Skład i opracowanie graficzne

Typesetting and graphics

Daniel Koprowicz, Mirosław Koszela, Wojciech Ingot

ISBN 978-83-7406-256-5

Publikacja dostępna na stronie internetowej

Publication available on website

<http://rzeszow.stat.gov.pl/publikacje-i-foldery/>

Przy publikowaniu danych GUS prosimy o podanie źródła

When publishing Statistics Poland data — please indicate the source

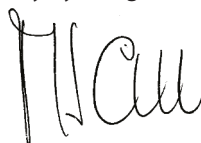
Przedmowa

Celem publikacji jest rozpoznanie przestrzennego zróżnicowania potencjału produkcji biogazu oraz biomasy stałej na poziomie wojewódzkim, a także powiatowym w przypadku województwa podkarpackiego. Analiza potencjału została przeprowadzona dla okresu 2010-2020 z wykorzystaniem danych statystycznych dotyczących rolnictwa, gospodarki odpadami oraz leśnictwa. Potencjał biomasy został następnie porównany ze zużyciem wybranych nośników energii.

W publikacji przedstawiono również wyniki analizy DEA (Data Envelopment Analysis) klasyfikujące badane województwa pod względem efektywności wykorzystania biomasy i biogazu.

Niniejsza publikacja kierowana jest głównie do rządowych i samorządowych jednostek organizacyjnych, uczelni i instytutów badawczych oraz przedsiębiorstw.

Dyrektor
Urzędu Statystycznego w Rzeszowie



dr Marek Cierpiął-Wolan

Rzeszów, marzec 2022 r.

Preface

The aim of the publication is to identify the spatial differentiation of biogas and solid biomass production potential at voivodship level, and at powiat level in the case of Podkarpackie Voivodship. The analysis of potential was carried out for the period 2010-2020 using statistical data for agriculture, waste management and forestry. The biomass potential was then compared with the consumption of selected energy carriers.

The publication also presents the results of Data Envelopment Analysis (DEA), which classified the studied voivodships in terms of their biomass and biogas exploitation efficiency.

This publication is mainly addressed to government and local government organisational units, universities and research institutes as well as businesses.

Director
of the Statistical Office Rzeszów

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Cierpiel-Wolan', written in a cursive style.

Marek Cierpiel-Wolan, Ph.D.

Rzeszów, March 2022

Spis treści

Contents

Przedmowa	2
Preface	3
Spis tablic	6
List of tables	6
Spis wykresów	7
List of charts	7
Spis map	11
List of maps	11
Objaśnienia znaków umownych	12
Symbols	12
Ważniejsze skróty	12
Main abbreviations	12
Synteza	13
Executive summary	14
Rozdział 1. Rola odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym	15
Chapter 1. The role of renewable energy sources in the energy balance	15
1.1. Polityka energetyczna Unii Europejskiej	15
1.1. Energy policy of the European Union	15
1.2. Polityka energetyczna Polski	17
1.2. Energy policy of Poland	17
1.3. Pozyskanie energii pierwotnej	18
1.3. Sourcing of primal energy	18
1.4. Zużycie krajowe ogółem nośników energii	20
1.4. Total domestic consumption of energy carriers	20
1.5. Produkcja energii elektrycznej	22
1.5. Electricity production	22
1.6. Produkcja ciepła	23
1.6. Heat production	23
1.7. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto	24
1.7. Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption	24
Rozdział 2. Potencjał biogazu oraz biomasy	25
Chapter 2. Biogas and biomass potential	25
2.1. Potencjał produkcji biogazu	25
2.1. Biogas production potential	25
2.1.1. Potencjał biogazu na poziomie wojewódzkim	31
2.1.1. Biogas potential on voivodship level	31
2.1.2. Potencjał biogazu na poziomie powiatów dla województwa podkarpackiego	46
2.1.2. Biogas potential at powiat level for Podkarpackie Voivodship	46
2.2. Potencjał biomasy stałej	48
2.2. Solid biomass potential	48

2.2.1. Potencjał biomasy stałej na poziomie wojewódzkim . . . . .	.52
2.2.1. Solid biomass potential at voivodship level. . . . .	.52
2.2.2. Potencjał produkcji biomasy stałej na poziomie powiatów dla województwa podkarpackiego . . . . .	.66
2.2.2. Solid biomass production potential at powiat level for Podkarpackie Voivodship .	.66
Rozdział 3. Znaczenie biomasy w pokryciu zapotrzebowania na energię . . . . .	.67
Chapter 3. The importance of biomass in covering the demand for energy . . . . .	.67
3.1. Zróżnicowanie regionalne potencjału biomasy stałej i biogazu w Polsce . . . . .	.67
3.1. Regional differentiation of solid biomass and biogas potential in Poland . . . . .	.67
3.2. Przestrzenne zróżnicowanie efektywności wykorzystania biogazu i biomasy . . . . .	.69
3.2. Spatial differentiation of biogas and biomass exploitation efficiency . . . . .	.69
Wnioski . . . . .	.72
Conclusions . . . . .	.72
Uwagi metodologiczne. . . . .	.73
Methodological notes. . . . .	.78
Bibliografia. . . . .	.83
Bibliography. . . . .	.83

Spis tablic

List of tables

Tablica 1. Potencjał biogazu według województw w latach 2010-2020	32
Table 1. Biogas potential by voivodship in 2010-2020	32
Tablica 2. Pokrycie zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii przez potencjał biogazu według województw	35
Table 2. Coverage of demand for individual energy carriers by biogas potential by voivodship	35
Tablica 3. Potencjał biomasy stałej według województw w latach 2010-2020	53
Table 3. Solid biomass potential by voivodship in 2010-2020	53
Tablica 4. Pokrycie zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii przez biomasę stałą według województw w latach 2010-2020	56
Table 4. Coverage of demand for individual energy carriers by solid biomass by voivodship in 2010-2020	56
Tablica 5. Całkowity potencjał biogazu i biomasy stałej w stosunku do zużycia energii elektrycznej według województw	67
Table 5. Total biogas and solid biomass potential in relation to electricity consumption by voivodship	67
Tablica 6. Całkowity potencjał biogazu i biomasy stałej w stosunku do sprzedaży energii ciepłej według województw	68
Table 6. Total biogas and solid biomass potential in relation to the sales of heat by voivodship	68

Spis wykresów

List of charts

Wykres 1. Pozyskanie energii pierwotnej oraz energii ze źródeł odnawialnych w Polsce	19
Chart 1. Sourcing of primary energy and energy from renewable sources in Poland.....	19
Wykres 2. Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników	19
Chart 2. Structure of sourcing energy from renewable sources in Poland by carriers	19
Wykres 3. Zużycie krajowe nośników energii oraz nośników energii odnawialnej w Polsce	20
Chart 3. Domestic consumption of energy carriers and renewable energy carriers in Poland	20
Wykres 4. Zużycie krajowe energii ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników	21
Chart 4. Domestic consumption of energy from renewable sources in Poland by carriers.....	21
Wykres 5. Pozyskanie oraz zużycie krajowe ogółem nośników energii odnawialnej w Polsce	21
Chart 5. Total domestic sourcing and consumption of renewable energy carriers in Poland	21
Wykres 6. Produkcja energii elektrycznej ogółem oraz produkcja energii elektrycznej z odnawial- nych źródeł energii w Polsce.....	22
Chart 6. Total electricity production and electricity production from renewable energy sources in Poland	22
Wykres 7. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników	23
Chart 7. Electricity production from renewable sources in Poland by carriers	23
Wykres 8. Produkcja ciepła ogółem oraz produkcja ciepła z odnawialnych nośników energii w Polsce	23
Chart 8. Total heat production and heat production from renewable energy sources in Poland	23
Wykres 9. Produkcja ciepła ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników	24
Chart 9. Heat production from renewable sources in Poland by carriers	24
Wykres 10. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce	24
Chart 10. Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption in Poland.....	24
Wykres 11. Potencjał biogazu w Polsce	25
Chart 11. Biogas potential in Poland	25
Wykres 12. Potencjał biogazu w Polsce dla dwóch badanych wydajności wraz z udziałem poszcze- gólnych źródeł	26
Chart 12. Biogas potential in Poland for the two emission scenarios studied, with the share of each source	26
Wykres 13. Udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biogazu	26
Chart 13. Share of individual sources in building biogas potential	26
Wykres 14. Udział poszczególnych gatunków zwierząt gospodarskich w budowaniu potencjału nawozów naturalnych	27
Chart 14. Share of individual livestock species in building natural fertiliser potential	27
Wykres 15. Struktura potencjału biogazu według źródeł	28
Chart 15. Structure of biogas potential by sources	28
Wykres 16. Udział potencjału biogazu względem sprzedaży gazu z sieci	28
Chart 16. Share of biogas potential in relation to sales of gas from the supply system	28
Wykres 17. Udział potencjału biogazu względem zużycia energii elektrycznej	29
Chart 17. Share of biogas potential in relation to electricity consumption.....	29
Wykres 18. Udział potencjału biogazu względem sprzedaży ciepła z sieci	29
Chart 18. Share of biogas potential in relation to sales of heat from the supply system	29

Wykres 19. Udział produkcji biogazu względem potencjału biogazu	30
Chart 19. Share of biogas production in relation to biogas potential	30
Wykres 20. Potencjał biogazu według województw	31
Chart 20. Biogas potential by voivodship	31
Wykres 21. Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci	32
Chart 21. Biogas potential in relation to covering the demand for sales of gas from the supply system	32
Wykres 22. Potencjał biogazu względem zużycia energii elektrycznej	34
Chart 22. Biogas potential in relation to electricity consumption	34
Wykres 23. Potencjał biogazu względem sprzedaży energii cieplnej według województw	35
Chart 23. Biogas potential in relation to heat sales by voivodship	35
Wykres 24. Struktura potencjału biogazu województwa dolnośląskiego	37
Chart 24. Structure of biogas potential of Dolnośląskie Voivodship	37
Wykres 25. Struktura potencjału biogazu województwa kujawsko-pomorskiego	37
Chart 25. Structure of biogas potential of Kujawsko-Pomorskie Voivodship	37
Wykres 26. Struktura potencjału biogazu województwa lubelskiego	38
Chart 26. Structure of biogas potential of Lubelskie Voivodship	38
Wykres 27. Struktura potencjału biogazu województwa lubuskiego	38
Chart 27. Structure of biogas potential of Lubuskie Voivodship	38
Wykres 28. Struktura potencjału biogazu województwa łódzkiego	39
Chart 28. Structure of biogas potential of Łódzkie Voivodship	39
Wykres 29. Struktura potencjału biogazu województwa małopolskiego	39
Chart 29. Structure of biogas potential of Małopolskie Voivodship	39
Wykres 30. Struktura potencjału biogazu województwa mazowieckiego	40
Chart 30. Structure of biogas potential of Mazowieckie Voivodship	40
Wykres 31. Struktura potencjału biogazu województwa opolskiego	40
Chart 31. Structure of biogas potential of Opolskie Voivodship	40
Wykres 32. Struktura potencjału biogazu województwa podkarpackiego	41
Chart 32. Structure of biogas potential of Podkarpackie Voivodship	41
Wykres 33. Struktura potencjału biogazu województwa podlaskiego	41
Chart 33. Structure of biogas potential of Podlaskie Voivodship	41
Wykres 34. Struktura potencjału biogazu województwa pomorskiego	42
Chart 34. Structure of biogas potential of Pomorskie Voivodship	42
Wykres 35. Struktura potencjału biogazu dla województwa śląskiego	42
Chart 35. Structure of biogas potential of Śląskie Voivodship	42
Wykres 36. Struktura potencjału biogazu dla województwa świętokrzyskiego	43
Chart 36. Structure of biogas potential of Świętokrzyskie Voivodship	43
Wykres 37. Struktura potencjału biogazu dla województwa warmińsko-mazurskiego	43
Chart 37. Structure of biogas potential of Warmińsko-Mazurskie Voivodship	43
Wykres 38. Struktura potencjału biogazu dla województwa wielkopolskiego	44
Chart 38. Structure of biogas potential of Wielkopolskie Voivodship	44
Wykres 39. Struktura potencjału biogazu dla województwa zachodniopomorskiego	44
Chart 39. Structure of biogas potential of Zachodniopomorskie Voivodship	44
Wykres 40. Potencjał biomasy stałej w Polsce	48
Chart 40. Solid biomass potential in Poland	48

Wykres 41. Potencjał biomasy stałej dla dwóch badanych wilgotności wraz z udziałem poszczególnych źródeł w Polsce	49
Chart 41. Solid biomass potential for the two studied moistures with the share of individual sources in Poland	49
Wykres 42. Procentowy udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biomasy stałej w Polsce	49
Chart 42. Percentage share of individual sources in building solid biomass potential in Poland	49
Wykres 43. Udział potencjału biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej w Polsce	50
Chart 43. Share of solid biomass potential in relation to electricity consumption in Poland	50
Wykres 44. Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży ciepła z sieci w Polsce	50
Chart 44. Share of solid biomass potential in relation to the sale of heat from the supply system in Poland	50
Wykres 45. Udział zużycia drewna na opał względem potencjału biomasy stałej w Polsce	51
Chart 45. Share of firewood consumption in relation to solid biomass potential in Poland	51
Wykres 46. Potencjał biomasy stałej według województw	52
Chart 46. Solid biomass potential by voivodship	52
Wykres 47. Udział potencjału biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej według województw	54
Chart 47. Share of solid biomass potential in relation to electricity consumption by voivodship	54
Wykres 48. Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży energii cieplnej według województw	56
Chart 48. Share of solid biomass potential in relation to sales of thermal energy by voivodship	56
Wykres 49. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa dolnośląskiego	58
Chart 49. Structure of solid biomass potential for Dolnośląskie Voivodship	58
Wykres 50. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa kujawsko-pomorskiego	58
Chart 50. Structure of solid biomass potential for Kujawsko-Pomorskie Voivodship	58
Wykres 51. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa lubelskiego	59
Chart 51. Structure of solid biomass potential for Lubelskie Voivodship	59
Wykres 52. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa lubuskiego	59
Chart 52. Structure of solid biomass potential for Lubuskie Voivodship	59
Wykres 53. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa łódzkiego	60
Chart 53. Structure of solid biomass potential for Łódzkie Voivodship	60
Wykres 54. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa małopolskiego	60
Chart 54. Structure of solid biomass potential for Małopolskie Voivodship	60
Wykres 55. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa mazowieckiego	61
Chart 55. Structure of solid biomass potential for Mazowieckie Voivodship	61
Wykres 56. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa opolskiego	61
Chart 56. Structure of solid biomass potential for Opolskie Voivodship	61
Wykres 57. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa podkarpackiego	62
Chart 57. Structure of solid biomass potential for Podkarpackie Voivodship	62
Wykres 58. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa podlaskiego	62
Chart 58. Structure of solid biomass potential for Podlaskie Voivodship	62
Wykres 59. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa pomorskiego	63
Chart 59. Structure of solid biomass potential for Pomorskie Voivodship	63

Wykres 60. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa śląskiego	63
Chart 60. Structure of solid biomass potential for Śląskie Voivodship	63
Wykres 61. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa świętokrzyskiego.....	64
Chart 61. Structure of solid biomass potential for Świętokrzyskie Voivodship	64
Wykres 62. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa warmińsko-mazurskiego.....	64
Chart 62. Structure of solid biomass potential for Warmińsko-Mazurskie Voivodship	64
Wykres 63. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa wielkopolskiego.....	65
Chart 63. Structure of solid biomass potential for Wielkopolskie Voivodship	65
Wykres 64. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa zachodniopomorskiego	65
Chart 64. Structure of solid biomass potential for Zachodniopomorskie Voivodship.....	65
Wykres 65. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2010 r.	69
Chart 65. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2010	69
Wykres 66. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2013 r.....	70
Chart 66. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2013	70
Wykres 67. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2016 r.	70
Chart 67. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2016	70
Wykres 68. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2020 r.....	71
Chart 68. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2020	71

Spis map

List of maps

Mapa 1.	Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci wraz z procentowym udziałem poszczególnych źródeł	33
Map 1.	Biogas potential in relation to covering the demand for gas sales from the network with the percentage share of each source	33
Mapa 2.	Produkcja biogazu względem potencjału biogazu	36
Map 2.	Biogas production in relation to biogas potential	36
Mapa 3.	Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci według powiatów	46
Map 3.	Biogas potential in relation to covering the demand for sales of gas from the supply system by powiat	46
Mapa 4.	Potencjał biogazu względem sprzedaży energii cieplnej dla powiatów województwa podkarpackiego	47
Map 4.	Biogas potential in relation to sales of thermal energy for powiats of Podkarpackie Voivodship	47
Mapa 5.	Potencjał biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej wraz z procentowym udziałem poszczególnych źródeł	55
Map 5.	Solid biomass potential in relation to electricity consumption with the percentage share of each source	55
Mapa 6.	Udział zużycia drewna na opał względem potencjału biomasy stałej	57
Map 6.	Share of firewood consumption in relation to solid biomass potential	57
Mapa 7.	Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży energii cieplnej w powiatach województwa podkarpackiego	66
Map 7.	Share of solid biomass potential in terms of sales of thermal energy in powiats of Podkarpackie Voivodship	66

Objaśnienia znaków umownych

Symbols

Symbol Symbol	Opis Description
Kreska (-)	zjawisko nie wystąpiło magnitude zero
Zero (0)	zjawisko istniało w wielkości mniejszej od 0,5 magnitude not zero, but less than 0.5 of a unit
Zero (0,0)	zjawisko istniało w wielkości mniejszej od 0,05 magnitude not zero, but less than 0.05 of a unit
Kropka (.)	oznacza: brak informacji, konieczność zachowania tajemnicy statystycznej lub że wypełnienie pozycji jest niemożliwe albo niecelowe data not available, classified data (statistical confidentiality) or providing data impossible or purposeless
Znak Δ	oznacza, że nazwy zostały skrócone w stosunku do obowiązującej klasyfikacji categories of applied classification are presented in abbreviated form
„W tym” „Of which”	oznacza, że nie podaje się wszystkich składników sumy indicates that not all elements of the sum are given
Comma (,)	used in figures represents the decimal point

Ważniejsze skróty

Main abbreviations

Symbol Symbol	Opis Description
tys.	tysiąc thousand
mln	milion million
mld bn	miliard billion
%	procent percent
kg	kilogram kilogram
t	tona tonne
m ³	metr sześcienny cubic metre
dam ³	dekametr sześcienny cubic decametre
kWh	kilowatogodzina kilowatt-hour
MJ	megadżul megajoule
GJ	gigadżul gigajoule

Symbol Symbol	Opis Description
TWh	tetrawatogodzina terawatt-hour
PJ	petadżul petajoule
ppm	jedna cząstka na milion parts per million
p.proc.	punkt procentowy percentage point
m.in. i.a.	między innymi among others
np. e.g.	na przykład for example
OZE RES	Odnawialne źródła energii Renewable energy sources
BDL	Bank Danych Lokalnych Local Data Bank
GUS	Główny Urząd Statystyczny Statistics Poland
UE EU	Unia Europejska European Union

Synteza

Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych stanowi ważny element strategii zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej i krajów członkowskich. Jej produkcja zyskuje na znaczeniu w kontekście globalnych zmian klimatycznych. Produkcja biomasy i biogazu wydaje się sposobem zarówno na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, jak i zwiększenie samowystarczalności energetycznej przez uzupełnienie konwencjonalnych źródeł energii.

Udział energii ze źródeł odnawialnych w pozyskaniu energii pierwotnej ogółem wzrósł w latach 2010-2020 z 7% do 18%. Jest on jednak znacznie zróżnicowany regionalnie, co jest uzasadnione ze względu na różny potencjał zasobów wykorzystywanych do jego produkcji. Odnosi się to chociażby do odpadów organicznych na wysypiskach śmieci, odpadów zwierzęcych i roślinnych w gospodarstwach rolnych.

W badanym okresie potencjał biogazu w skali kraju utrzymywał się na stabilnym poziomie ponad 7,11 mld m³ mogącym w 2020 roku pokryć od 23% do 26% zapotrzebowania na gaz z sieci. W przypadku województwa warmińsko-mazurskiego, a w szczególności podlaskiego „uruchomienie” potencjału biogazu zapewniłoby tym województwom samowystarczalność pod względem zapotrzebowania na gaz z sieci. Województwo podkarpackie ze średnim potencjałem wynoszącym od 170 mln m³ do 208 mln m³ plasuje się na 14. miejscu w kraju.

W badanym okresie potencjał biomasy stałej w skali kraju wykazywał tendencję wzrostową utrzymującą się w przedziale od 561 PJ do 614 PJ w 2020 roku. Wykorzystany do produkcji energii elektrycznej oraz ciepłej w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć od 20% do 22% zużycia energii elektrycznej oraz od 276% do 302% sprzedaży ciepła w 2020 roku.

Potencjał biomasy województwa podkarpackiego mógłby w badanym okresie pokryć od 25% do 28% zużycia energii elektrycznej oraz od 257% do 279% sprzedaży energii ciepłej w badanym okresie. Wyniki także wskazują, iż w przypadku „uruchomienia” potencjału biomasy produkcja zarówno energii elektrycznej, jak i ciepłej byłaby zdominowana przez biomasę stałą. Jej wysoki udział występował szczególnie w województwach odznaczających się dużym udziałem powierzchni lasów oraz niskim potencjałem produkcji biogazu, np. województwo lubuskie.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że dla większości badanych województw łączny potencjał biomasy stałej i biogazu może pokryć w znacznym stopniu zapotrzebowanie pod względem energii elektrycznej oraz ciepłej, co wskazuje na duży potencjał i zasoby energii odnawialnej w Polsce. Stwierdzono, że w badanym okresie 2010-2020 intensywność wykorzystania potencjału biogazu rośnie, w przeciwieństwie do potencjału biomasy stałej, którego wykorzystanie w ostatnich latach wykazuje tendencję malejącą.

W obecnych czasach dąży się do zwiększenia zużycia energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych, w tym z biogazu i biomasy w stosunku do energii wytworzonej ze źródeł konwencjonalnych. Bez wątpienia biomasa i biogaz stanowią cenne źródło energii elektrycznej i ciepłej, ponadto są alternatywą dla metod konwencjonalnych, zanieczyszczających środowisko naturalne. Przeprowadzone badania wskazują, że Polska posiada znaczący potencjał biomasy i biogazu. Jest on jednak zróżnicowany regionalnie. W skali kraju liderem pod względem wykorzystania potencjału produkcji biogazu jest województwo pomorskie. Przeciwnieństwem jest województwo podlaskie, które zarówno 2010 roku, jak i 2020 roku zajmowało ostatnie miejsce w kraju.

Executive summary

Energy from renewable sources is an important part of the sustainable development strategy of the European Union and its Member States. Its production is becoming increasingly important in the context of global climate change. The production of biomass and biogas appears to be a way of both reducing greenhouse gas emissions and increasing energy self-sufficiency by supplementing conventional energy sources.

The share of renewable energy in total primary energy acquisition increased from 7% to 18% between 2010 and 2020. However, it varies considerably from region to region, which is justified by the different potential of the resources used to produce it. This applies, for example, to organic waste in landfill sites and animal and plant waste in farms.

In the examined period, the biogas potential on a national scale was stable at over 7.11 billion m³, which in 2020 could cover from 23% to 26% of the demand for gas from the supply system. In the case of Warmińsko-Mazurskie Voivodship and Podlaskie Voivodship in particular, „activating” the biogas potential would ensure that these voivodships are self-sufficient in terms of demand for gas from the supply system. Podkarpackie Voivodship, with an average potential of between 170 and 208 million m³, is ranked 14th in the country.

In the studied period, the potential of solid biomass at the national scale showed an upward trend in the range from 561 PJ to 614 PJ in 2020. When used to produce electricity in cogeneration units and heat, it could cover from 20% to 22% of electricity consumption and from 276% to 302% of heat sales in 2020.

The biomass potential of Podkarpackie Voivodship could cover from 25% to 28% of electricity consumption and from 257% to 279% of heat sales in the study period. The results also indicate that if the biomass potential was „activated”, both electricity and heat production would be dominated by solid biomass. The high share of solid biomass was particularly pronounced in voivodships with a high proportion of forest area and low biogas production potential, such as Lubuskie Voivodship.

The calculations showed that for most of the studied voivodships the total potential of solid biomass and biogas can cover to a large extent the demand in terms of electric and thermal energy, which indicates a large potential and resources of renewable energy in Poland. It was found that over the 2010-2020 period, the intensity of biogas potential utilisation was increasing, in contrast to solid biomass potential, which has shown a decreasing trend in recent years.

Currently, the aim is to increase the consumption of energy generated from renewable sources, including biogas and biomass, relative to energy generated from conventional sources. There is no doubt that biomass and biogas are valuable sources of electricity and heat and are an alternative to conventional methods which pollute the environment. Studies have shown that Poland has considerable biomass and biogas potential. However, it is regionally differentiated. On a national scale, Pomorskie Voivodship is the leader in terms of the exploitation of biogas production potential. The opposite is Podlaskie Voivodship, which both in 2010 and 2020 was ranked last in the country.

Rozdział 1

Chapter 1

Rola odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym

The role of renewable energy sources in the energy balance

1.1. Polityka energetyczna Unii Europejskiej

1.1. Energy policy of the European Union

Strategia klimatyczno-energetyczna Unii Energetycznej definiowana jest poprzez cele dotyczące stopniowego ograniczania emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do poziomu emisji w 1990 r., tj. 20% w 2020 r., a 40,0% w 2030 r. oraz jej długoterminową wizję dążenia do neutralności klimatycznej UE do 2050 r.

1. Pierwszy pakiet klimatyczno-energetyczny UE został przyjęty przez Parlament Europejski i Radę Europejską w 2009 r. i wyznaczył ramy europejskiej polityki energetycznej do 2020 r. Pakiet wyznaczył trzy kluczowe cele:

- Redukcja emisji gazów cieplarnianych o 20% (w stosunku do poziomu z 1990 r.).
- Zwiększenie do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii do 2020 r.
- Zwiększenie efektywności wykorzystania energii o 20% do 2020 r.

Pakiet określił cele krajowe dla poszczególnych państw członkowskich. Celem Polski było zapewnienie 15% energii ze źródeł odnawialnych w całej krajowej konsumpcji energii do 2020 r.¹ W 2005 r. w Polsce udział energii z OZE wyniósł 7,2%, a w 2020 r. osiągnął poziom 16,1%.

2. Drugi pakiet klimatyczno-energetyczny UE został przyjęty przez Parlament Europejski i Radę Europejską w 2014 r. i wyznaczył nową koncepcję polityki klimatyczno-energetycznej UE do 2030 r. Cele wyznaczone na ten rok, to:

- Wiążący cel unijny - redukcja emisji gazów cieplarnianych w 2030 r. o co najmniej 40% w stosunku do roku 1990.
- Wiążący cel unijny - osiągnięcie co najmniej 27% udziału energii ze źródeł odnawialnych do 2030 r.
- Indykatory cel unijny - co najmniej 27% poprawa efektywności energetycznej do 2030 r.
- Wspieranie budowy wewnętrznego rynku energii poprzez pilne (najpóźniej do 2020 r.) osiągnięcie celu dotyczącego międzysystemowej zdolności przesyłu energii elektrycznej na poziomie 10%, zwłaszcza w przypadku krajów bałtyckich i Półwyspu Iberyjskiego, a następnie osiągnięcie poziomu 15% do 2030 r.

3. Powyższe cele są wkładem UE w realizację porozumień klimatycznych. Jednym z nich jest Porozumienie Paryskie - powszechne, prawnie wiążące globalne porozumienie w sprawie zmian klimatu, przyjęte w grudniu 2015 roku podczas 21. konferencji stron Ramowej Konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych dotyczące zmian klimatu. Określa ono globalne ramy mające na celu uniknięcie niebezpiecznej zmiany klimatu poprzez:

- długoterminowy cel polegający na utrzymaniu wzrostu średniej temperatury na świecie na poziomie znacznie poniżej 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej;
- dążenie do ograniczenia wzrostu średniej temperatury na świecie do 1,5°C.

4. Pakiet „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” (CEP)², przyjęty w 2019 r., stanowi wypełnienie wytycznych ustalonych w drugim pakiecie klimatyczno-energetycznym i jest częścią długoterminowej strategii UE na rzecz osiągnięcia Europy neutralnej dla klimatu do 2050.

¹ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

² https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en

Znaleźć w nim możemy zaktualizowane cele UE na 2030 r.:

- redukcja emisji gazów cieplarnianych o 40% w porównaniu z poziomem z 1990 r.,
- osiągnięcie co najmniej 32% udziału energii ze źródeł odnawialnych w miksie energetycznym UE,
- co najmniej 32,5% poprawa efektywności energetycznej.

Pakiet ten jest jednocześnie największym pakietem dyrektyw oraz rozporządzeń dotyczących energii i klimatu. W jego skład wchodzi osiem aktów prawnych, których celem jest utrzymanie konkurencyjności UE w trakcie transformacji rynków energetycznych w kierunku czystej energii. Przepisy te zastąpiły obowiązujący dotychczas pakiet energetyczny z 2009 r.

Na pakiet „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” składają się cztery dyrektywy i cztery rozporządzenia:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca Dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i Dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej³.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych⁴.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2002 z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca Dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej⁵.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu, zmiany rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 663/2009 i (WE) nr 715/2009, Dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady: 94/22/WE, 98/70/WE, 2009/31/WE, 2009/73/WE, 2010/31/UE, 2012/27/UE i 2013/30/UE, Dyrektyw Rady 2009/119/WE i (EU) 2015/652 oraz uchylecia rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 525/2013⁶.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/943 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie rynku wewnętrznego energii elektrycznej⁷.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej oraz zmieniająca Dyrektywę 2012/27/UE⁸.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/941 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie gotowości na wypadek zagrożeń w sektorze energii elektrycznej i uchylające Dyrektywę 2005/89/WE⁹.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/942 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające agencję Unii Europejskiej ds. współpracy organów regulacji energetyki¹⁰.

Zmieniona dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii weszła w życie w grudniu 2018 roku i ustanowiła wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych. W artykule 3. dyrektywy zapisano, że państwa członkowskie wspólnie zapewnią, aby udział energii ze źródeł odnawialnych w UE w końcowym zużyciu energii brutto w 2030 r. wynosił co najmniej 32%.

Aby osiągnąć unijne cele, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie zarządzania Unią Energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu nakłada na każde państwo członkowskie opracowanie zintegrowane krajowego planu w dziedzinie energii i klimatu¹¹ (zgodnie z art. 3–5 i 9–14 Rozporządzenia). Pierwszy plan obejmuje okres od 2021 r. do 2030 r. i uwzględnia dłuższą perspektywę.

Krajowy plan przedstawia sposób, w jaki państwa UE zajmą się pięcioma obszarami:

- efektywność energetyczna,
- odnawialne źródła energii,
- redukcja emisji gazów cieplarnianych,

3 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>

4 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

5 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2002&from=PL>

6 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

7 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0943&from=PL>

8 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>

9 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0941&from=EN>

10 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0942&from=EN>

11 Do 31 grudnia 2019 r., następnie do 1 stycznia 2029 r. i dalej co 10 lat.

- połączenia międzysystemowe,
 - badania naukowe i innowacje.
5. W 2019 r. Komisja Europejska opublikowała komunikat w sprawie Europejskiego Zielonego Ładu, czyli strategii rozwoju, która ma przekształcić Unię Europejską w obszar neutralny klimatycznie. Państwowym członkowskim wyznaczono prawnie wiążący cel polegający na osiągnięciu zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r. oraz cel pośredni - zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% - do 2030 r. w stosunku do poziomu z 1990 r.

1.2. Polityka energetyczna Polski

1.2. Energy policy of Poland

Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej ma prawo niezależnie kształtować politykę energetyczną kraju, lecz jednocześnie ma obowiązek przestrzegać założeń unijnej polityki energetyczno-klimatycznej. Kluczowym dokumentem strategicznym, którego celem jest sprostanie tym wyzwaniom jest „Polityka Energetyczna Polski”, przygotowana na podstawie ustawy „Prawo energetyczne” z dnia 10 kwietnia 1997 r. Ponadto w ramach zobowiązań nałożonych na państwa członkowskie UE opracowano „Krajowy Plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030”, który w znacznym stopniu pokrywa się z zakresem polityki energetycznej.

1. Polityka energetyczna Polski do 2040 r.

Rada Ministrów w dniu 2 lutego 2021 r. zatwierdziła „Politykę energetyczną Polski do 2040 r.” PEP2040 zastąpiła „Politykę energetyczną Polski do 2030 r.”, a także Strategię „Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko - perspektywa do 2020 r.” PEP2040 składa się z trzech filarów, na których oparto osiem celów szczegółowych oraz opisano działania niezbędne do ich realizacji, dzięki którym przeprowadzona zostanie niskoemisyjna transformacja energetyczna.

Sprawiedliwa transformacja jest pierwszym z filarów, którego założeniem jest wsparcie regionów i społeczności dotkniętych przemianami w sektorze energetycznym. Drugi z filarów to zeroemisyjny system energetyczny jako długoterminowy kierunek, do którego zmierza transformacja energetyczna. Trzeci z filarów związany jest z dobrą jakością powietrza. Realizacji tego zadania mają służyć: inwestycja w transformację sektora ciepłowniczego (systemowego i indywidualnego), elektryfikacja transportu oraz promowanie domów pasywnych i zeroemisyjnych, wykorzystujących lokalne źródła energii.

Cele szczegółowe PEP2040, to:

- Optymalne wykorzystanie własnych zasobów energetycznych;
- Rozbudowa infrastruktury wytwórczej i sieciowej energii elektrycznej;
- Dywersyfikacja dostaw i rozbudowa infrastruktury sieciowej gazu ziemnego, ropy naftowej i paliw ciekłych;
- Rozwój rynków energii;
- Wdrożenie energetyki jądrowej;
- Rozwój odnawialnych źródeł energii;
- Rozwój ciepłownictwa i kogeneracji;
- Poprawa efektywności energetycznej.

Celem polityki energetycznej, zaprezentowanym w PEP2040, jest bezpieczeństwo energetyczne, przy zapewnieniu konkurencyjności gospodarki, efektywności energetycznej i zmniejszeniu oddziaływania sektora energii na środowisko i optymalnym wykorzystaniu własnych zasobów energetycznych. PEP2040 stanowi wkład Polski w realizację Porozumienia Paryskiego.

2. Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 (KPEiK)¹² przedstawia założenia i cele oraz polityki i działania na rzecz realizacji 5 wymiarów unii energetycznej:
- bezpieczeństwa energetycznego,
 - wewnętrznego rynku energii,
 - efektywności energetycznej,

¹² <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu>

- obniżenia emisyjności,
- badań naukowych, innowacji i konkurencyjności.

Plan ten został przygotowany w oparciu o poniższe krajowe strategie rozwoju:

- Strategia zrównoważonego rozwoju transportu do 2030 r., z dnia 24 września 2019 r.
- Polityka ekologiczna państwa 2030 – Strategia rozwoju w obszarze środowiska gospodarki wodnej, z dnia 16 lipca 2019 r.
- Krajowa strategia rozwoju regionalnego 2030, z dnia 17 września 2019 r.
- Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030, z dnia 15 października 2019 r.
- Programy sektorowe

oraz uwzględnia Politykę energetyczną Polski do 2040 r.

KPEiK wyznaczył następujące polskie cele klimatyczno-energetyczne na 2030 r.:

- 7% redukcji emisji gazów cieplarnianych w sektorach nieobjętych systemem ETS¹³ w stosunku do poziomu w roku 2005;
- 21-23% udziału OZE w finalnym zużyciu energii brutto w 2030 r., uwzględniając:
 - 14% udziału OZE w transporcie;
 - roczny wzrost udziału OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie o 1,1 p.proc. średniorocznie.
 - wzrost efektywności energetycznej o 23% w porównaniu z prognozami zużycia energii pierwotnej z 2007r.

Cele klimatyczno-energetyczne Unii Europejskiej i Polski do 2030 r. przedstawia poniższe zestawienie:

Cel	UE	Polska
Zmniejszenie poziomu emisji gazów cieplarnianych w porównaniu z 1990 r. o co najmniej	UE - 40%	PL - 7% sektor non- ETS w porównaniu z 2005 r.
Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto	UE - 32%	PL - 21-23%
Poprawa efektywności energetycznej o co najmniej	UE - 32,5%	PL - 23% w porównaniu z prognozami z 2007 r.

Odnawialne źródła energii są jednym ze sposobów zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w sektorze energetycznym, poprawy bezpieczeństwa energetycznego i wspierania zrównoważonego rozwoju. W Polsce obserwuje się pozytywny trend wzrostu udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym gospodarki, a potencjał w zakresie rozwoju technologii energii odnawialnej jest coraz większy.

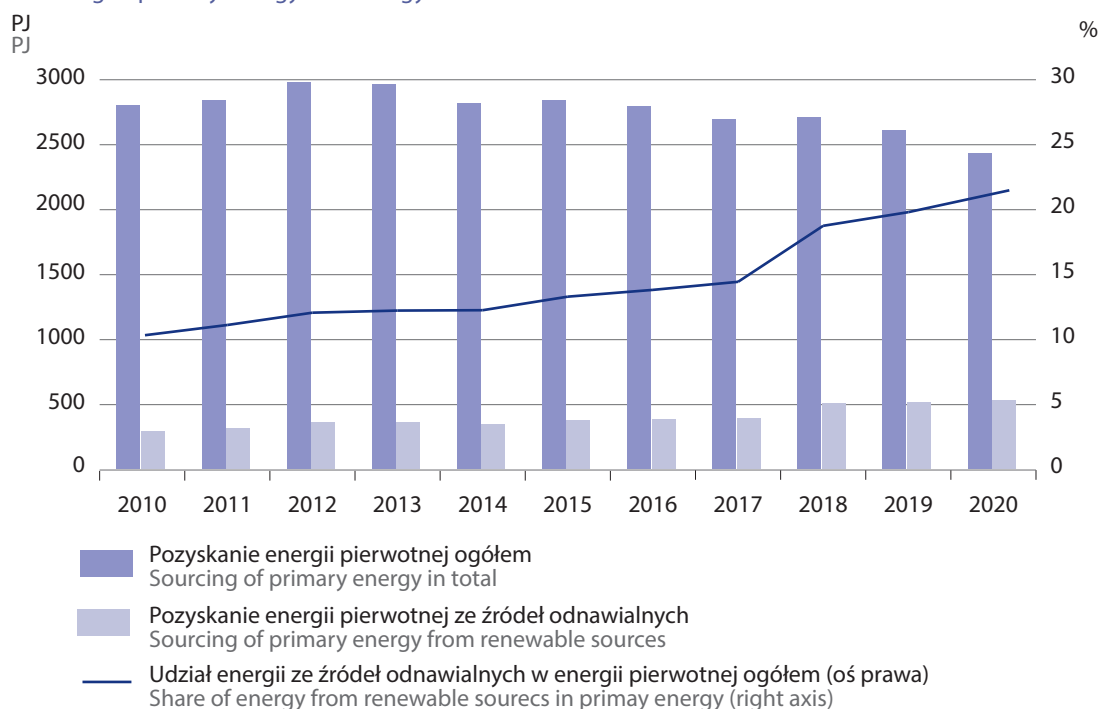
1.3. Pozyskanie energii pierwotnej

1.3. Sourcing of primal energy

W latach 2010-2020 pozyskanie energii pierwotnej z odnawialnych źródeł energii systematycznie wzrosło. Największy wzrost w ujęciu rok do roku zanotowano w 2018 r. (30,9%). W 2020 r. w porównaniu z 2010 r. pozyskanie energii pierwotnej z odnawialnych źródeł energii było o 81,6% wyższe. Jednocześnie w analizowanym okresie obserwowany był spadek pozyskania energii pierwotnej ogółem. W 2010 r. jej pozyskanie wyniosło 2798,2 PJ, zaś w 2020 r. zmalało do 2427,4 PJ, co oznacza spadek o 13,3%. Konsekwencją był znaczny wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w energii pierwotnej ogółem (z 10,3% w 2010 r. do 21,6% w 2020 r.).

¹³ System EU ETS jest pierwszym na świecie międzynarodowym systemem handlu z uprawnieniami do emisji.

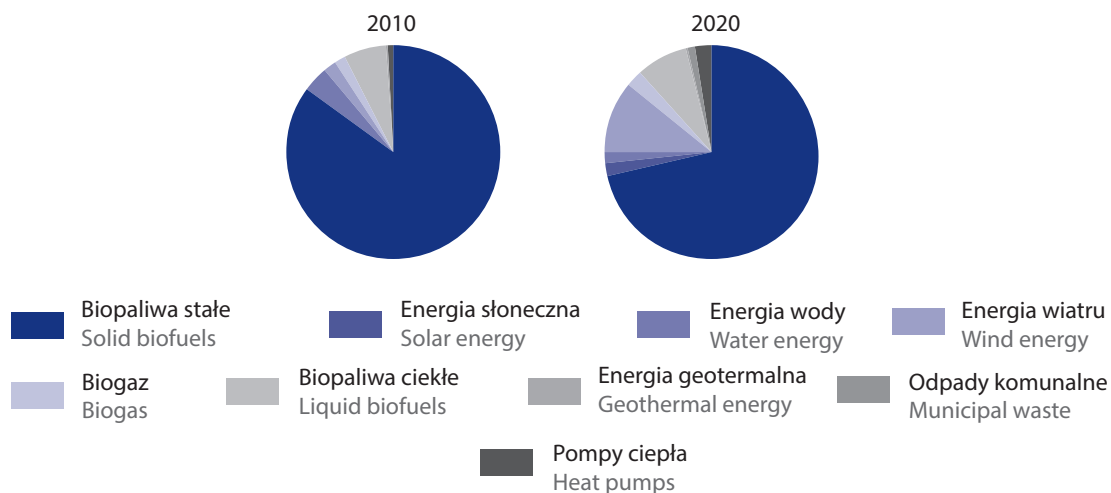
Wykres 1. Pozyskanie energii pierwotnej oraz energii ze źródeł odnawialnych w Polsce
Chart 1. Sourcing of primary energy and energy from renewable sources in Poland



Pozyskanie energii odnawialnej w 2020 r. opierało się głównie na biopaliwach stałych (71,6%). Duży udział stanowiła także energia z wiatru (10,9%) oraz energia ze spalania biopłynów (7,8%). Znacznie mniej pozyskanej energii pochodziło z biogazu (2,6%), pomp ciepła (2,4%) i energii słonecznej (2,0%). Śladowe ilości energii pozyskano z wody (1,5%), spalania odpadów komunalnych (1,1%) oraz ze źródeł geotermalnych (0,2%).

W ciągu analizowanej dekady największy wzrost pozyskania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych dotyczył odpadów komunalnych (blisko 48-krotnie). Duży wzrost zanotowano także w przypadku energii słonecznej (blisko 24-krotnie). Spadło natomiast pozyskanie energii z wody (o 27,5%).

Wykres 2. Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników
Chart 2. Structure of sourcing energy from renewable sources in Poland by carriers



1.4. Zużycie krajowe ogółem nośników energii

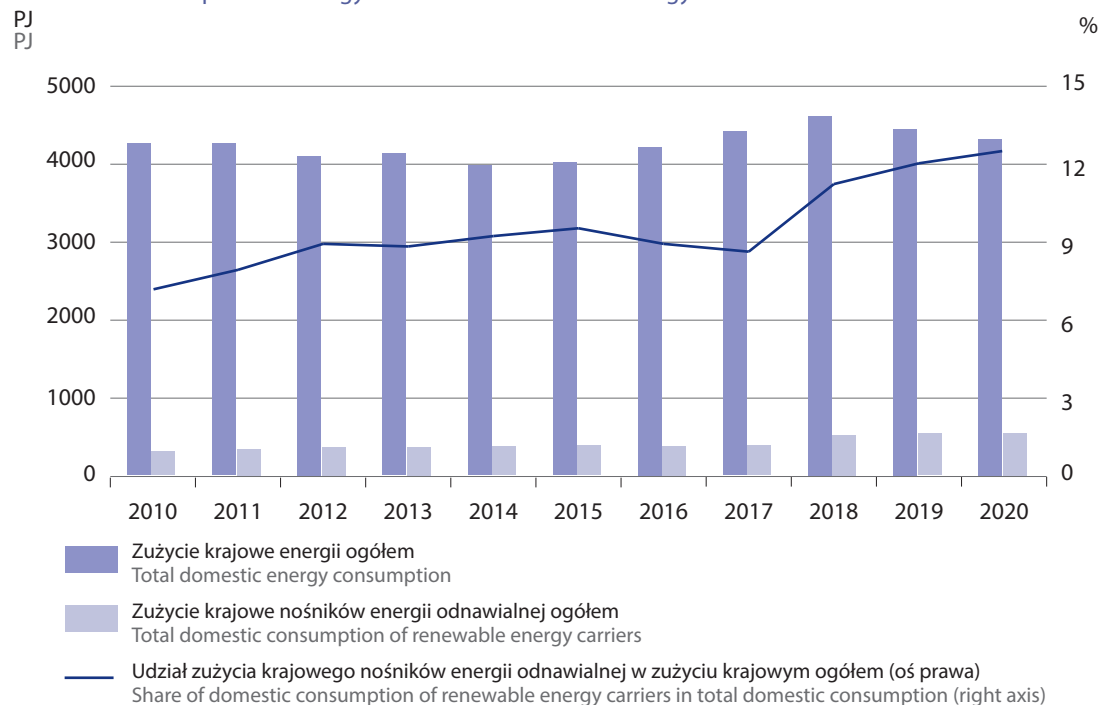
1.4. Total domestic consumption of energy carriers

Zużycie krajowe ogółem nośników energii odnawialnej wzrosło w latach 2010-2020. W porównaniu z 2010 r. zużycie to wzrosło o 77,1% (z 306,2 PJ w 2010 r. do 542,2 PJ w 2020 r.). Największy wzrost w ujęciu rok do roku zanotowano w 2018 r. (35,8%). Natomiast zużycie krajowe energii ogółem wzrosło nieznacznie – o 1,3%. W konsekwencji nastąpił wzrost udziału zużycia krajowego nośników energii odnawialnej w zużyciu krajowym ogółem. Udział ten w 2010 r. wyniósł 7,2%, a w 2020 r. wzrósł do 12,6%.

Wykres 3. Zużycie krajowe nośników energii oraz nośników energii odnawialnej w Polsce

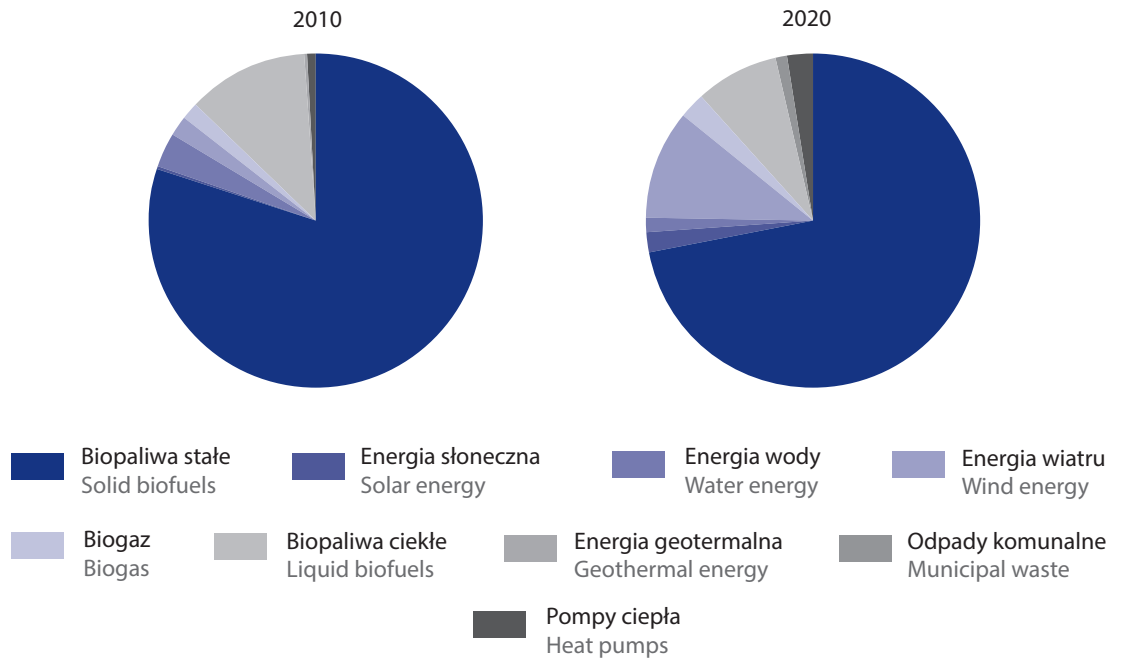
Chart 3.

Domestic consumption of energy carriers and renewable energy carriers in Poland

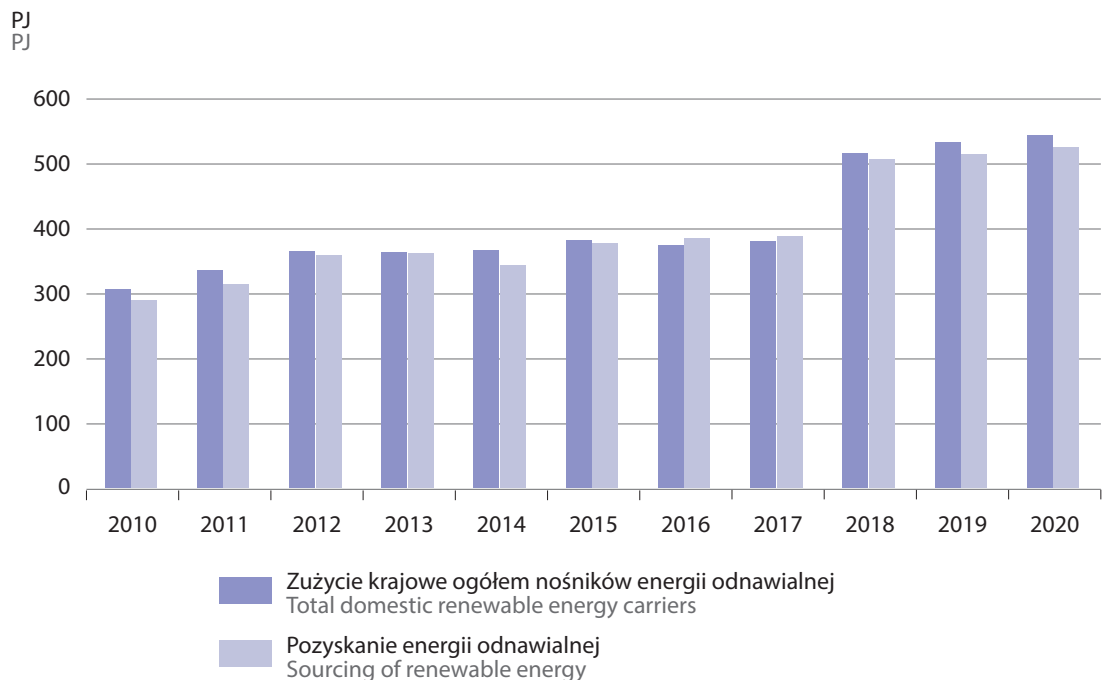


W 2020 r. biopaliwa stały się dominującym nośnikiem energii odnawialnej wykorzystywanym w Polsce. Ich zużycie w 2020 r. stanowiło 72,0% krajowego zużycia nośników energii. Energia pochodząca z wiatru stanowiła 10,5% zużycia krajowego nośników energii odnawialnej, zaś energia ze spalania biopłynów 8,0%. Energia geotermalna była najrzadziej używanym nośnikiem energii odnawialnej (0,2%).

Wykres 4. Zużycie krajowej energii ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników
Chart 4. Domestic consumption of energy from renewable sources in Poland by carriers



Wykres 5. Pozyskanie oraz zużycie krajowe ogółem nośników energii odnawialnej w Polsce
Chart 5. Total domestic sourcing and consumption of renewable energy carriers in Poland



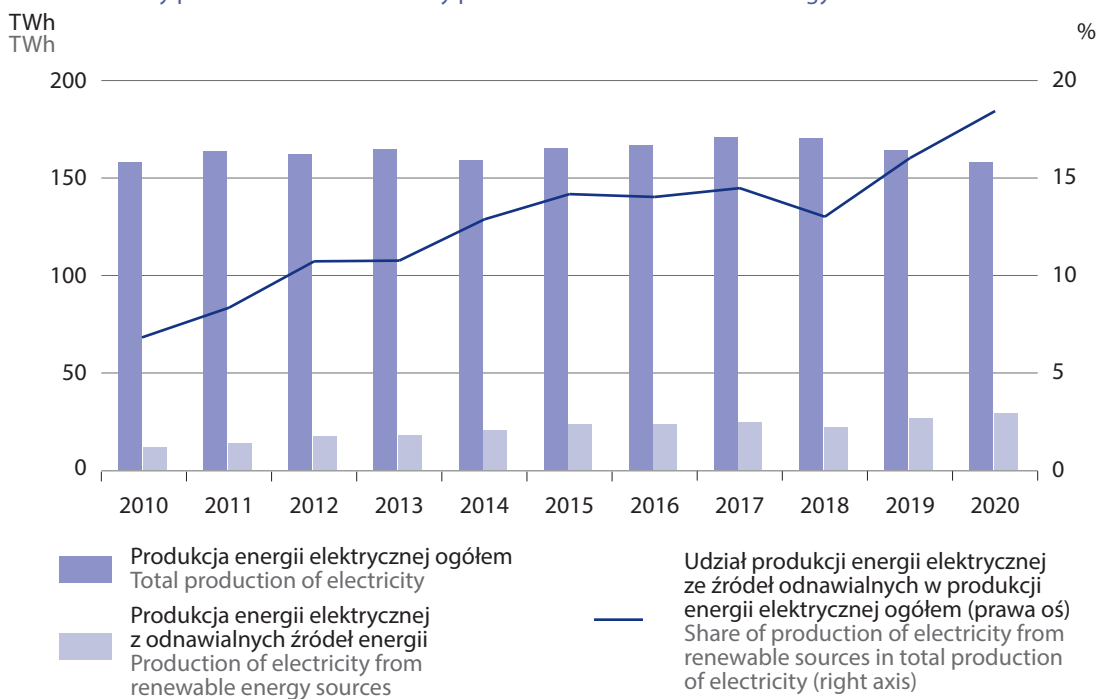
1.5. Produkcja energii elektrycznej

1.5. Electricity production

W latach 2010-2020 produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii stale wzrastała. W omawianej dekadzie produkcja ta wzrosła o 153,5% do wartości 29,0 TWh. Natomiast produkcja energii elektrycznej ogółem utrzymała się na stałym poziomie (nieznaczny wzrost o 0,2% w porównaniu z 2010 r.). Udział produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej ogółem w analizowanych latach wzrósł z 7,3% do 18,4%.

Wykres 6. Produkcja energii elektrycznej ogółem oraz produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w Polsce

Chart 6. Total electricity production and electricity production from renewable energy sources in Poland

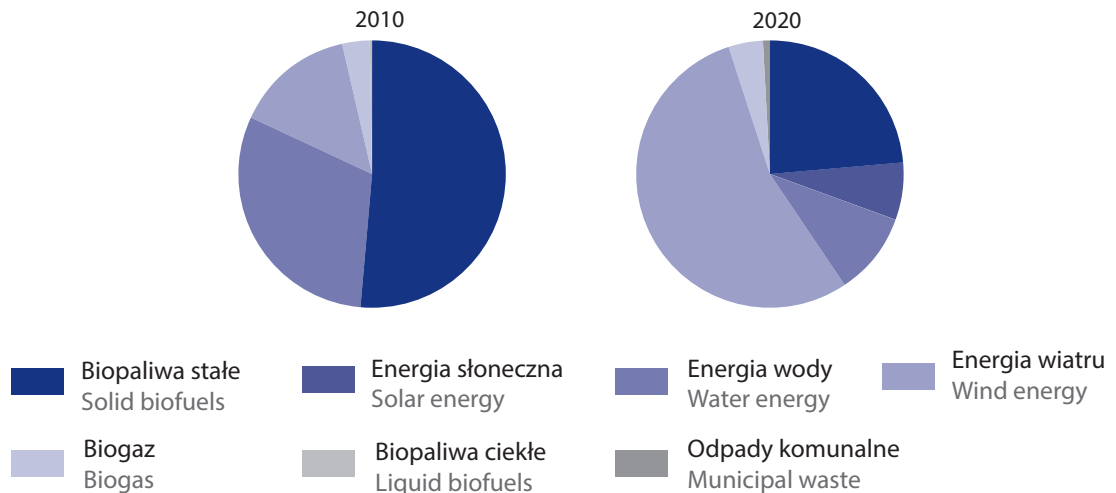


W 2020 r. najwięcej energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych nośników energii pochodziło z wiatru. Udział tego nośnika w produkcji energii elektrycznej z odnawialnych nośników energii wyniósł 58,7%. Spalanie biopaliw stałych wytworzyło 25,8% energii elektrycznej pochodzącej z nośników energii odnawialnej. Najmniej energii elektrycznej pochodziło ze spalania biopłynów (0,001%).

Największy wzrost produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w ciągu analizowanej dekady dotyczył energii z wiatru (ponad 8-krotnie). Spadła natomiast produkcja energii elektrycznej z wody (o 15,8%)¹⁴.

¹⁴ Dane dla produkcji energii słonecznej oraz odpadów komunalnych nie zostały ujęte w powyższej analizie, gdyż produkcja energii elektrycznej z tych nośników w latach 2010-2015 była nieznaczna.

Wykres 7. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników
Chart 7. Electricity production from renewable sources in Poland by carriers

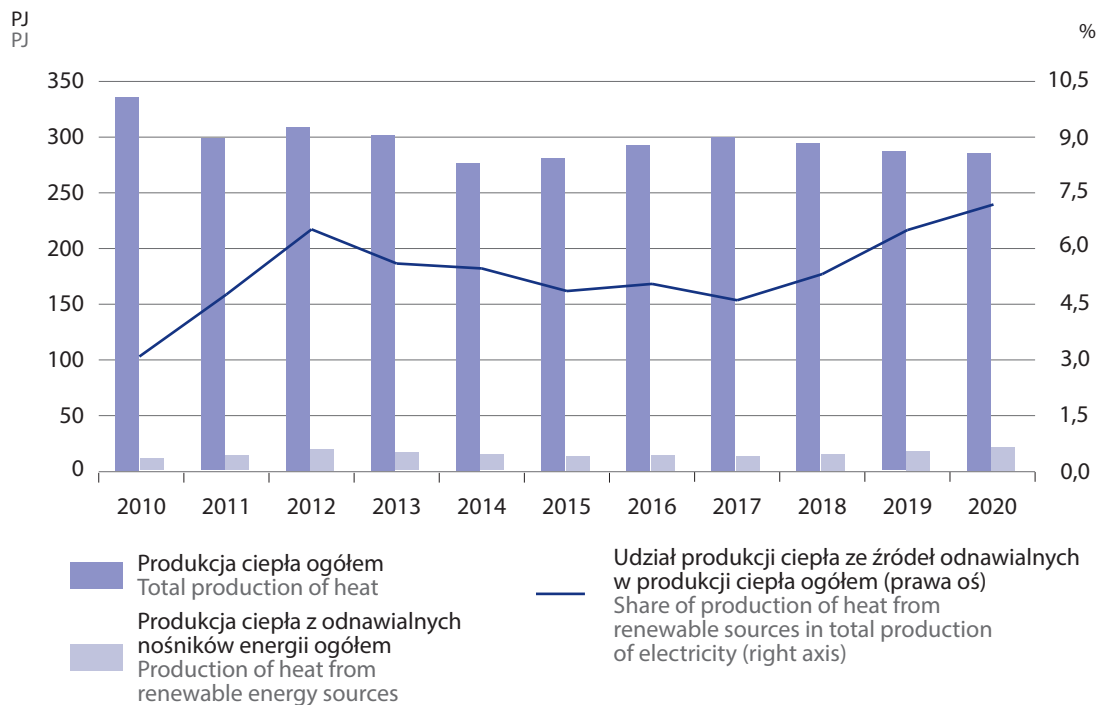


1.6. Produkcja ciepła

1.6. Heat production

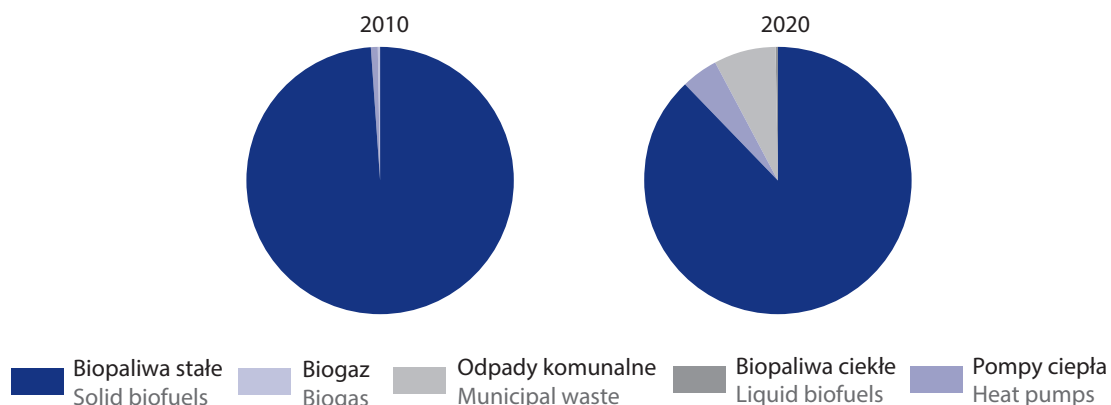
Produkcja ciepła z odnawialnych źródeł energii wzrosła z 2,9 PJ w 2010 do 5,9 PJ w 2020 r., co daje niemal 2-krotny wzrost w ciągu 10 lat. Natomiast produkcja ciepła ogółem w analizowanym okresie spadła o 14,9%. Udział produkcji ciepła ze źródeł odnawialnych w produkcji ciepła ogółem w latach 2010-2020 wzrósł z 0,9% w 2010 r. do 2,1% w 2020 r.

Wykres 8. Produkcja ciepła ogółem oraz produkcja ciepła z odnawialnych nośników energii w Polsce
Chart 8. Total heat production and heat production from renewable energy sources in Poland



W 2020 r. najwięcej ciepła produkowanego z odnawialnych nośników energii pochodziło ze spalania biopaliw stałych. Udział tego nośnika w produkcji ciepła z odnawialnych nośników energii wyniósł 88,0%. Najmniej ciepła pochodziło z pomp ciepła (0,02%).

Wykres 9. Produkcja ciepła ze źródeł odnawialnych w Polsce według nośników
Chart 9. Heat production from renewable sources in Poland by carriers

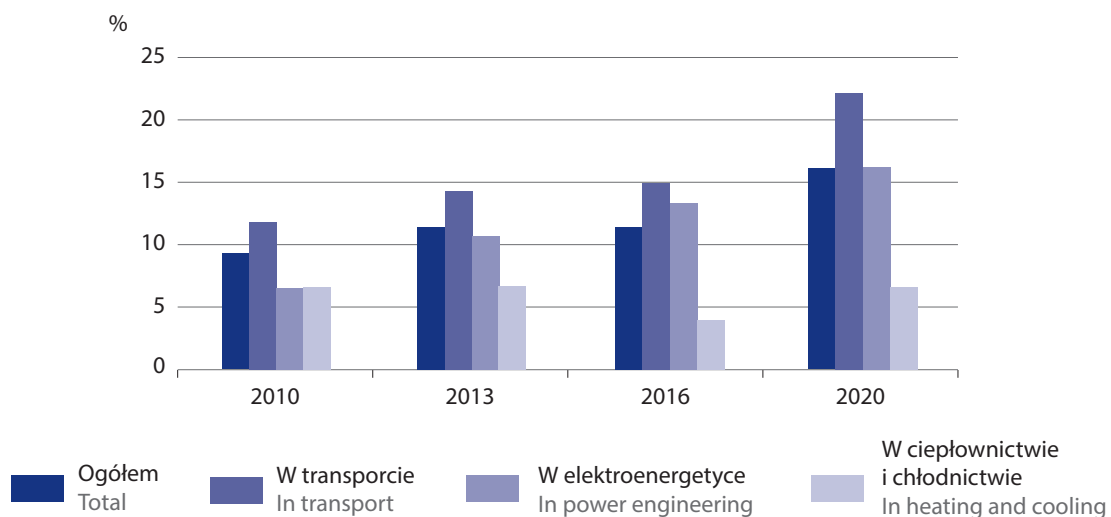


1.7. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto

1.7. Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption

Dyrektywa 2009/28/WE zobowiązała państwa członkowskie Unii Europejskiej do zapewnienia 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. Dla Polski cel ten został ustalony na poziomie 15%. W 2010 r. udział ten wyniósł 9,3%, natomiast w 2020 r. wzrósł do 16,1%.

Wykres 10. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w Polsce
Chart 10. Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption in Poland



Rozdział 2

Chapter 2

Potencjał biogazu oraz biomasy

Biogas and biomass potential

2.1. Potencjał produkcji biogazu

2.1. Biogas production potential

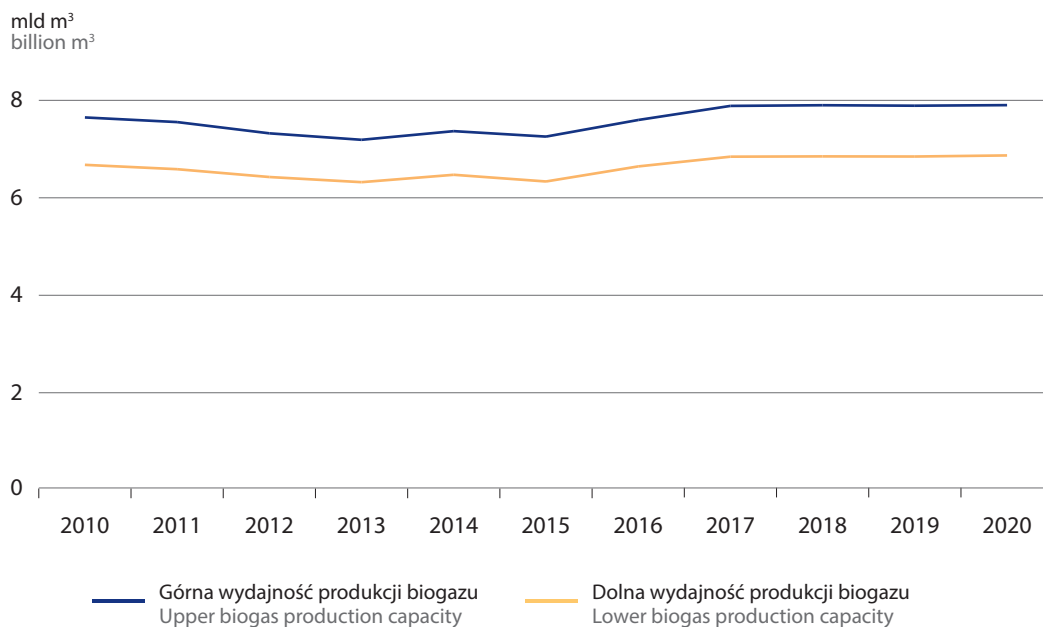
Poniżej przedstawione zostały wyniki uzyskane w ramach badań polskiej statystyki publicznej dotyczące potencjału biogazu. Analizie porównawczej poddane zostały następujące zagregowane zestawy danych:

1. Sprawozdanie o infrastrukturze, odbiorcach i sprzedaży gazu z sieci.
2. Zużycie energii elektrycznej według sektorów ekonomicznych.
3. Sprzedaż energii cieplnej w ciągu roku według lokalizacji.
4. Sprawozdanie o ciepłe ze źródeł odnawialnych.
5. PSR 2010.
6. PSR 2020.
7. Pogłowie zwierząt gospodarskich.
8. Uprawy rolnicze.
9. Powierzchnia lasów.
10. Pozyskanie drewna.

Na wykresie 11 przedstawiono dane dotyczące potencjału biogazu dla dwóch rozpatrywanych wydajności produkcji biogazu w latach 2010-2020.

Wykres 11. Potencjał biogazu w Polsce

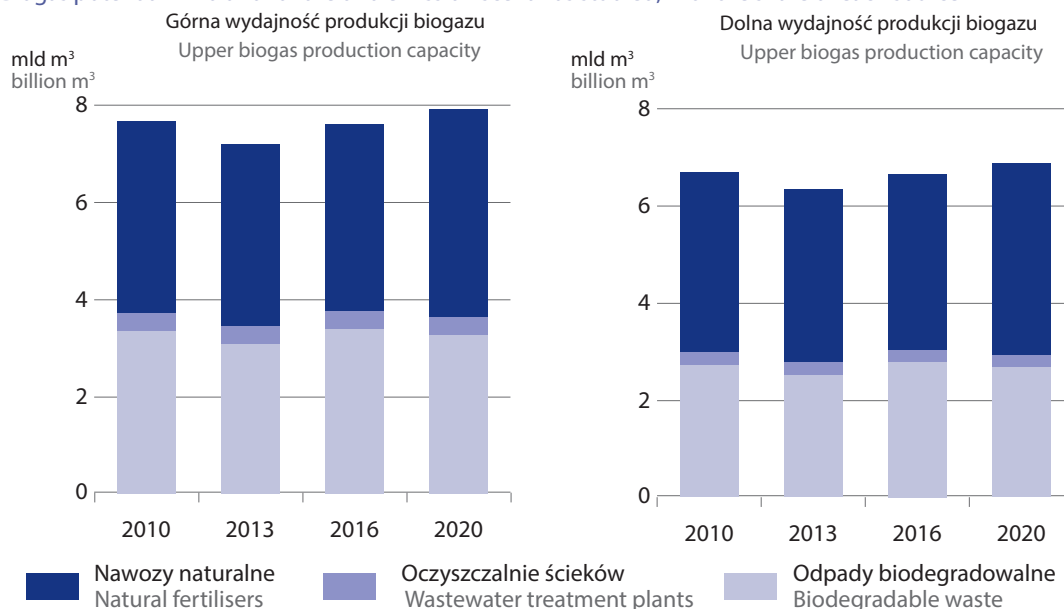
Chart 11. Biogas potential in Poland



Potencjał biogazu w skali kraju został oszacowany dla dwóch rozpatrywanych wydajności. Wykazuje on dużą stabilność szczególnie w okresie 2017-2020. Średnia arytmetyczna potencjału biogazu obliczona z uwzględnieniem obu rozpatrywanych wydajności wynosi ponad 7,11 mld m³ w skali roku.

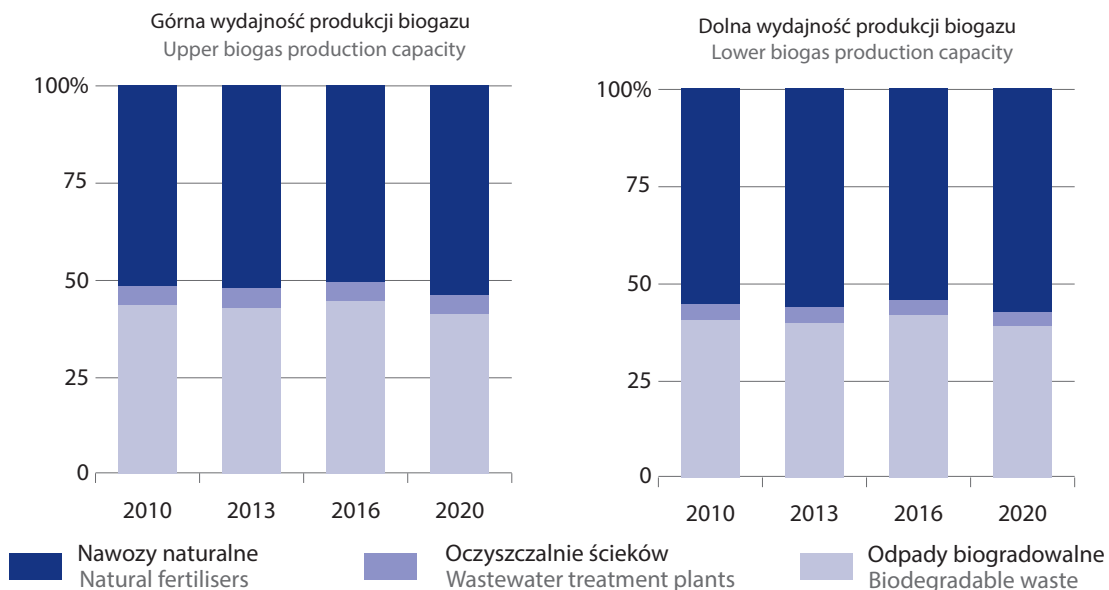
Wykres 12. Potencjał biogazu w Polsce dla dwóch badanych wydajności wraz z udziałem poszczególnych źródeł

Chart 12. Biogas potential in Poland for the two emission scenarios studied, with the share of each source



Wykres 13. Udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biogazu

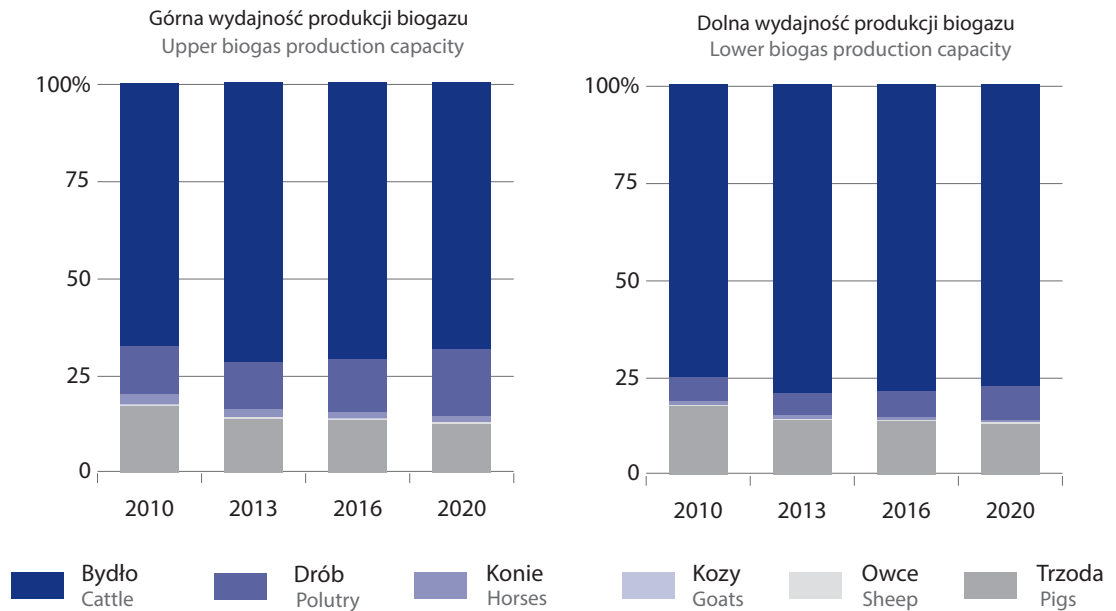
Chart 13. Share of individual sources in building biogas potential



W wybranych latach potencjał biogazu był budowany głównie przez nawozy naturalne oraz odpady biodegradowalne. W przypadku górnych wydajności produkcji biogazu średni udział nawozów naturalnych wyniósł ponad 51,9%, natomiast dla dolnych wydajności produkcji było to ponad 55,7%.

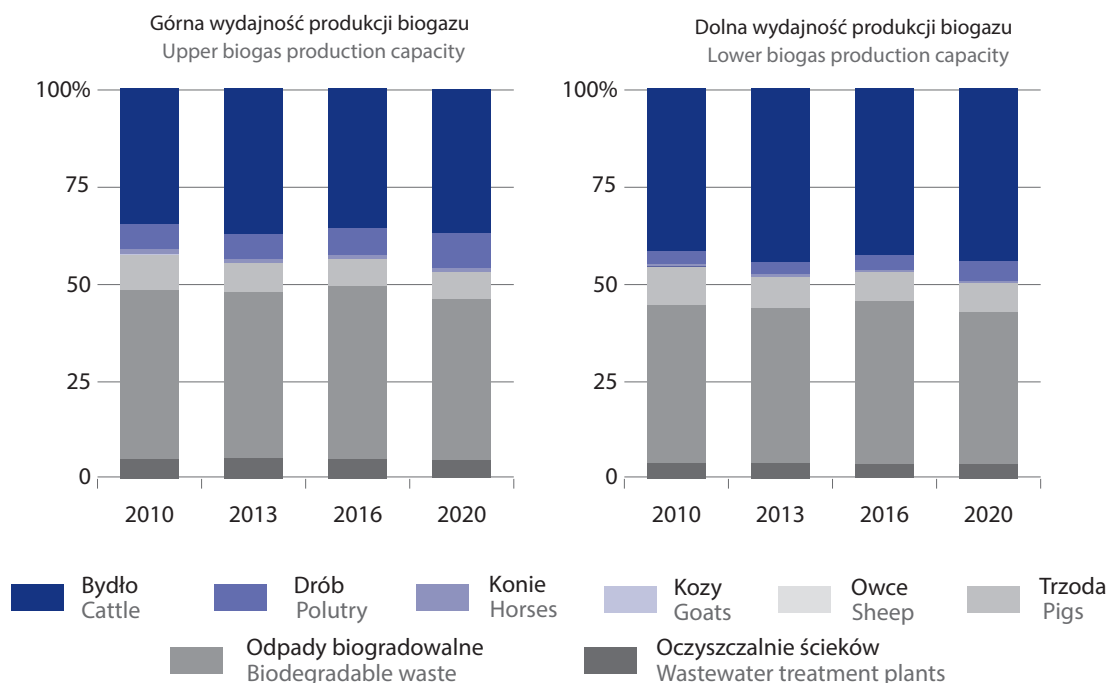
Wykres 14. Udział poszczególnych gatunków zwierząt gospodarskich w budowaniu potencjału nawozów naturalnych

Chart 14. Share of individual livestock species in building natural fertiliser potential



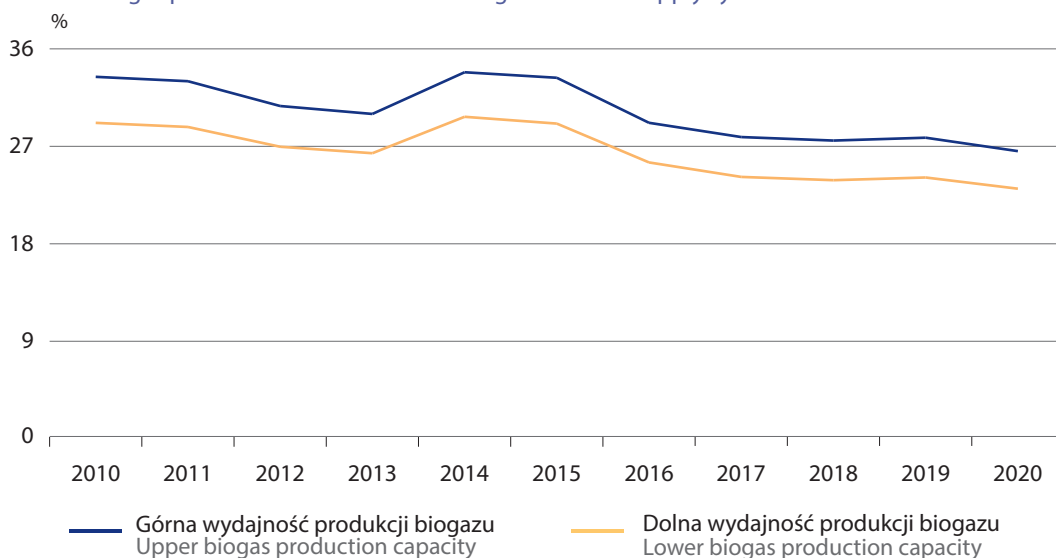
Nawozy naturalne pochodzenia bydłowego stanowiły dominującą część potencjału biogazu. W przypadku górnych wydajności jest to średnio ponad 69%, a ponad 77% dla dolnych wydajności produkcji biogazu. W badanych latach nastąpił wyraźny spadek znaczenia nawozów naturalnych pochodzących z hodowli trzody chlewnej z ponad 17% w 2010 r. do około 13% w 2020 r. Najistotniejsze zmiany zaobserwowano w przypadku pogłowia drobiu w zależności od przyjętych wydajności produkcji biogazu, w rezultacie jego średni udział wahał się od ponad 7% do około 14%. Udział pozostałych gatunków (konie, kozy i owce) wyniósł od ponad 1% do około 2,5% w zależności od przyjętych wydajności produkcji biogazu.

Wykres 15. Struktura potencjału biogazu według źródeł
Chart 15. Structure of biogas potential by sources



W skali kraju potencjał budowany jest głównie przez biogaz możliwy do pozyskania z odpadów biodegradowalnych, średnio od 40,4% do ponad 43,1% w zależności od przyjętych wydajności produkcji biogazu. Ważnym źródłem jest także hodowla bydła odpowiadająca średnio za ponad 36,1%~43,3% potencjału biogazu, w zależności od przyjętej wydajności produkcji. Udział trzody chlewnej wyniósł od 7,2% do 8,1%; w przypadku nawozu naturalnego pochodzącego z hodowli drobiu procentowy udział zmienia się od 3,9% do ponad 7,4%. Udział oczyszczalni ścieków zmienia się od 3,8% do 4,9%.

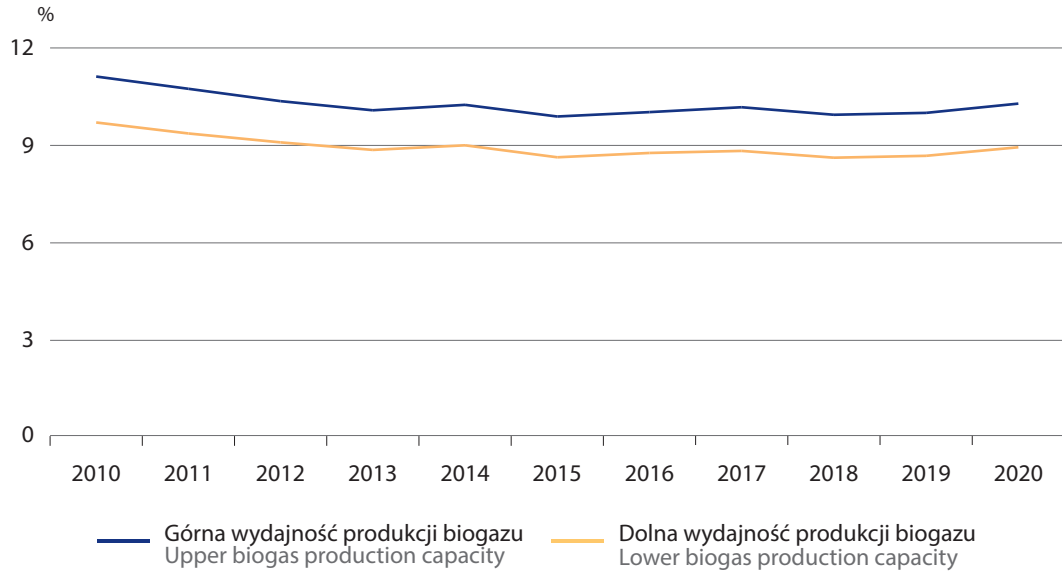
Wykres 16. Udział potencjału biogazu względem sprzedaży gazu z sieci
Chart 16. Share of biogas potential in relation to sales of gas from the supply system



Wskutek wzrostu zapotrzebowania na gaz z sieci znaczenie potencjału biogazu w pokryciu tego zapotrzebowania stopniowo malało w badanym okresie. Jednak w 2020 r., w zależności od przyjętych wydajności, całkowity potencjał biogazu mógłby pokryć od 23% do 26% zapotrzebowania na gaz z sieci.

Wykres 17. Udział potencjału biogazu względem zużycia energii elektrycznej

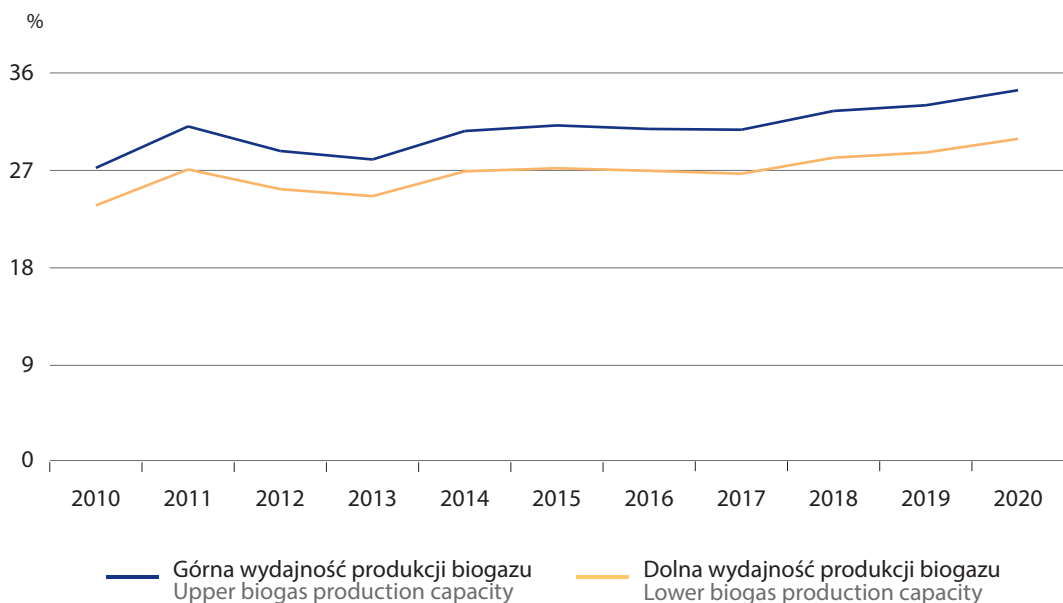
Chart 17. Share of biogas potential in relation to electricity consumption



Potencjał biogazu wykorzystany w całości do produkcji energii elektrycznej w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć od 8,9% do 10,2% zużycia energii elektrycznej w okresie 2010-2020.

Wykres 18. Udział potencjału biogazu względem sprzedaży ciepła z sieci

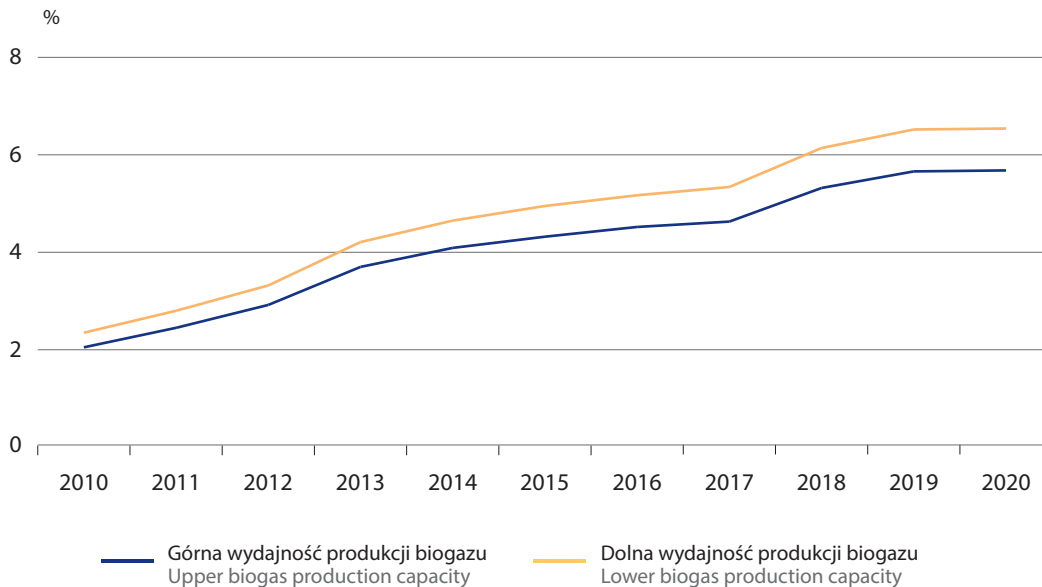
Chart 18. Share of biogas potential in relation to sales of heat from the supply system



W 2010 r. energia cieplna wyprodukowana w urządzeniach kogeneracyjnych z wykorzystaniem całości potencjału biogazu mogłaby pokryć od 23,7% do 27,2% zużycia energii cieplnej. Natomiast w 2020 r. pokrycie sprzedaży ciepła byłoby wyższe od 29,9% do 34,4%.

Wykres 19. Udział produkcji biogazu względem potencjału biogazu

Chart 19. Share of biogas production in relation to biogas potential



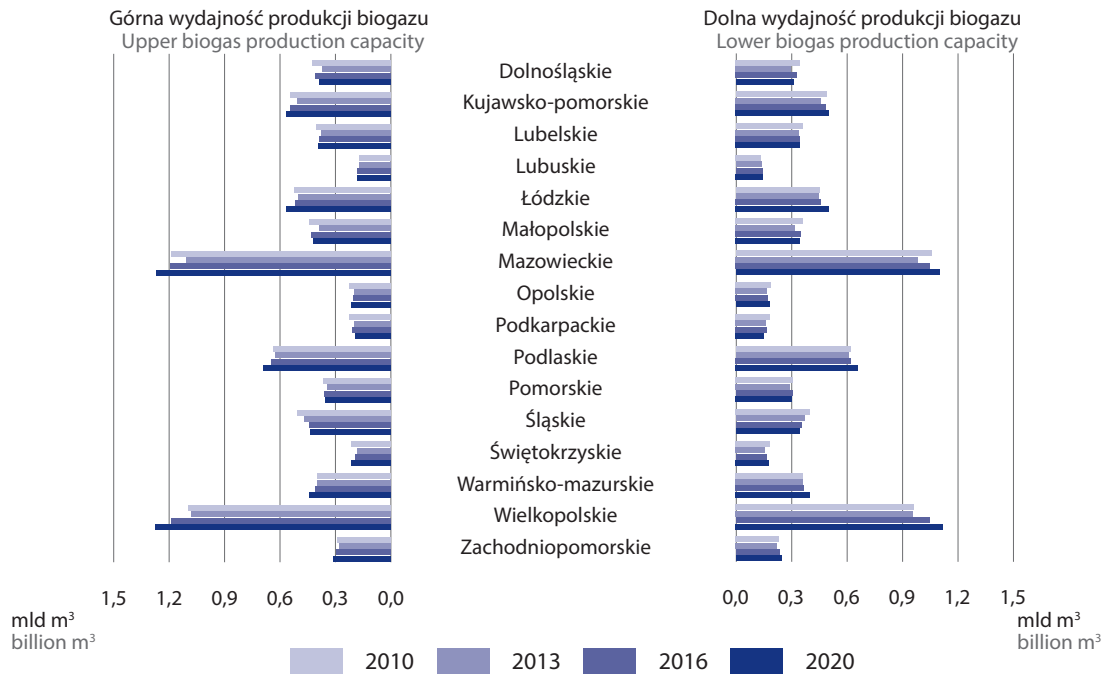
W celu opisanego wykorzystania potencjału biogazu względem jego produkcji na wykresie 19 przedstawiono wskaźnik, w którym produkcję biogazu w danym roku podzielono przez potencjał biogazu. W 2010 r. potencjał biogazu był wykorzystywany średnio na poziomie ponad 2,2% w skali kraju, jednak w badanym okresie 2010-2020 jego wykorzystanie stopniowo rosło, osiągając średni poziom ponad 6,1% w 2020 r.

2.1.1. Potencjał biogazu na poziomie wojewódzkim

2.1.1. Biogas potential on voivodship level

Na wykresie 20 przedstawiono dane dotyczące potencjału biogazu dla dwóch rozpatrywanych wydajności produkcji biogazu w latach 2010-2020. Otrzymane wyniki stanowią sumę potencjału pochodzącego z odpadów biodegradowalnych, oczyszczalni ścieków oraz nawozów naturalnych.

Wykres 20. Potencjał biogazu według województw
Chart 20. Biogas potential by voivodship



W badanym okresie (2010-2020) największy potencjał biogazu wykazywały województwa mazowieckie oraz wielkopolskie. Natomiast najmniejszym średnim potencjałem w skali kraju dysponują województwa lubuskie oraz świętokrzyskie. Województwo podkarpackie ze średnim potencjałem wynoszącym od 170 mln m³ do 208 mln m³ plasuje się na 14. miejscu w kraju dla obu rozpatrywanych wydajności produkcji.

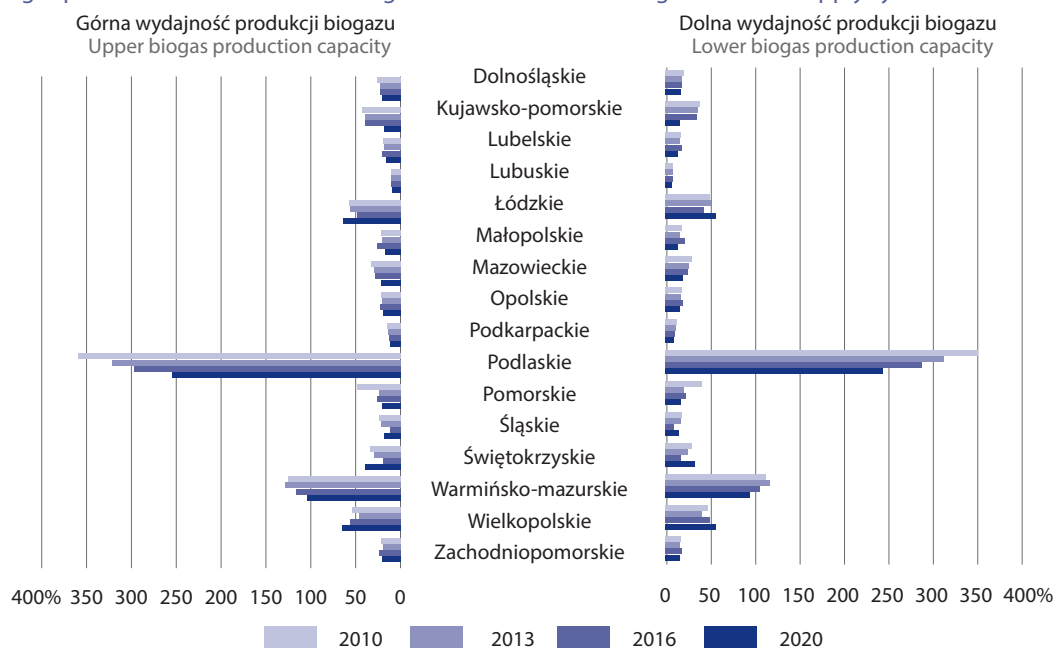
Tablica 1. Potencjał biogazu według województw w latach 2010-2020

Table 1. Biogas potential by voivodship in 2010-2020

Wyszczególnienie Specification	Potencjał biogazu Biogas potential					
	Górna wydajność produkcji Upper production capacity			Dolna wydajność produkcji Lower production capacity		
	średni po- tencjał average potential	minimalny potencjał minimum potential	maksymalny potencjał maximum potential	średni po- tencjał average potential	minimalny potencjał minimum potential	maksymalny potencjał maximum potential
	dam ³					
Dolnośląskie	399292,7	370784,5	425304,3	324480,9	301477,5	347138,8
Kujawsko-pomorskie	538277,8	507764,6	577785,9	484750,6	462064,8	516036,9
Lubelskie	389696,6	367197,4	413091,5	349549,8	329804,9	369595,6
Lubuskie	178842	171165,4	190226,6	144866,4	137434,6	152552
Łódzkie	531629,6	493830,1	567009,1	471185,8	439668,3	503663,5
Małopolskie	417247,3	387732,9	441032,4	343972	319962,7	363142,9
Mazowieckie	1188455	1105225	1324098	1050395	986880,7	1149742
Opolskie	208151,4	192224	225202,9	178367	164759,7	192565,3
Podkarpackie	208143,5	190349,6	222531,3	170890,9	153538,4	185401,1
Podlaskie	647442,3	608063,7	694748	627620,7	594258,7	665867,1
Pomorskie	358980,4	343264	379358,3	305888,3	293391	323280,5
Śląskie	459052,3	432053	505605,4	366595,2	345156	403328,7
Świętokrzyskie	197431,8	182435	214314,1	170864,2	159680,3	185815
Warmińsko-mazurskie	412384,3	389717,3	441810,6	374856,2	351903,5	403070,5
Wielkopolskie	1159777	1077865	1273405	1021162	955663,4	1121592
Zachodniopomorskie	297401,9	276327	319689	239389,2	224663,2	254761

W tablicy 1 zebrano średnie, górne oraz dolne wartości potencjału biogazu dla okresu 2010-2020.

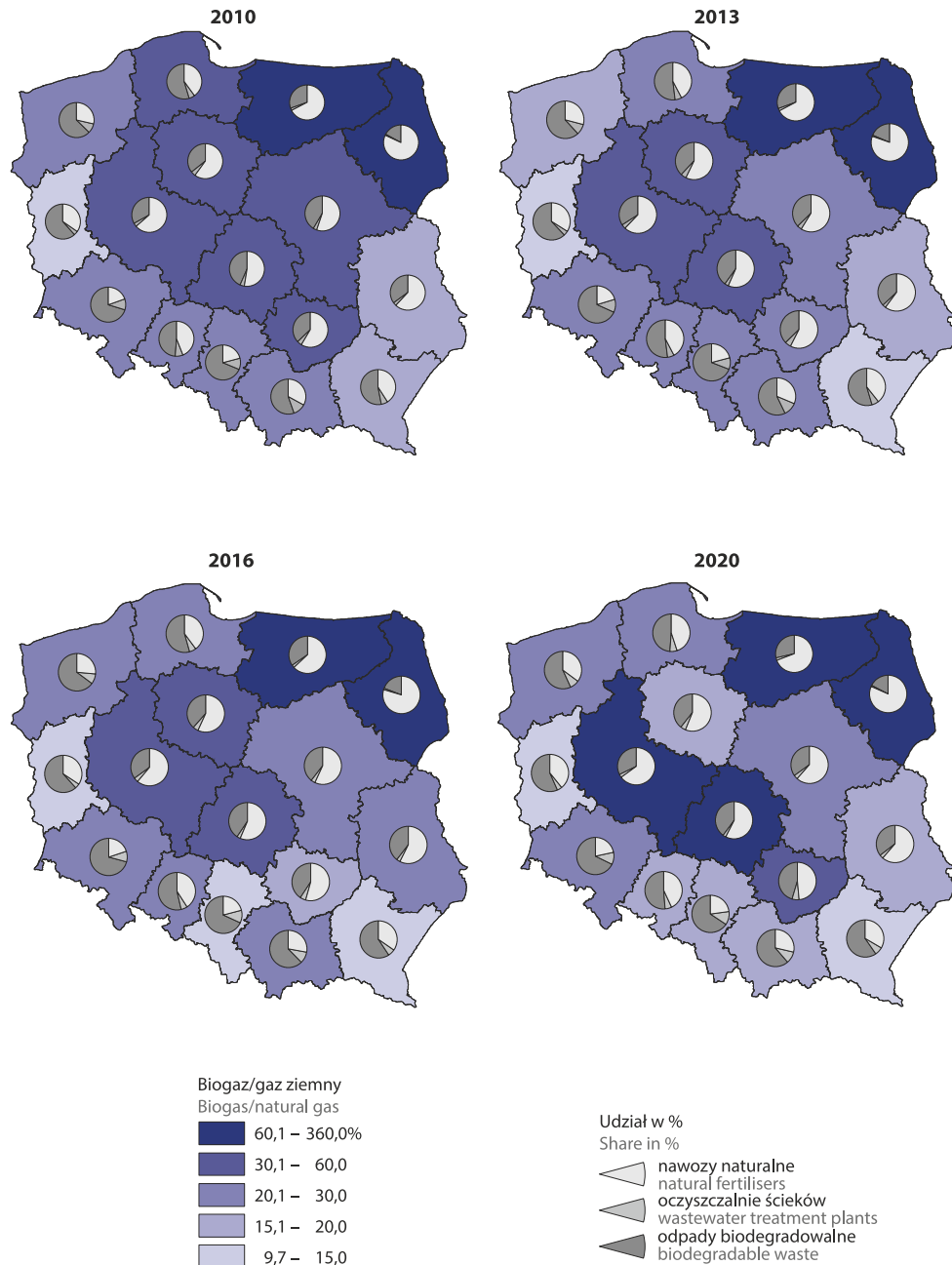
Wykres 21. Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci
Chart 21. Biogas potential in relation to covering the demand for sales of gas from the supply system



W zależności od rozpatrywanej wydajności produkcji całkowity potencjał biogazu mógłby pokryć średnio od 95% do 104% zapotrzebowania na gaz z sieci w województwie warmińsko-mazurskim, natomiast w przypadku województwa podlaskiego potencjał biogazu byłby w stanie pokryć średnio od 254% do 262% zapotrzebowania. W przypadku województw wielkopolskiego oraz łódzkiego potencjał biogazu byłby w stanie pokryć odpowiednio 44%-50% oraz 42%-47% zapotrzebowania na gaz z sieci. Województwo podkarpackie, wykorzystując potencjał biogazu byłoby w stanie pokryć od 9,9% do 12,1% zapotrzebowania na gaz z sieci.

Mapa 1. Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci wraz z procentowym udziałem poszczególnych źródeł

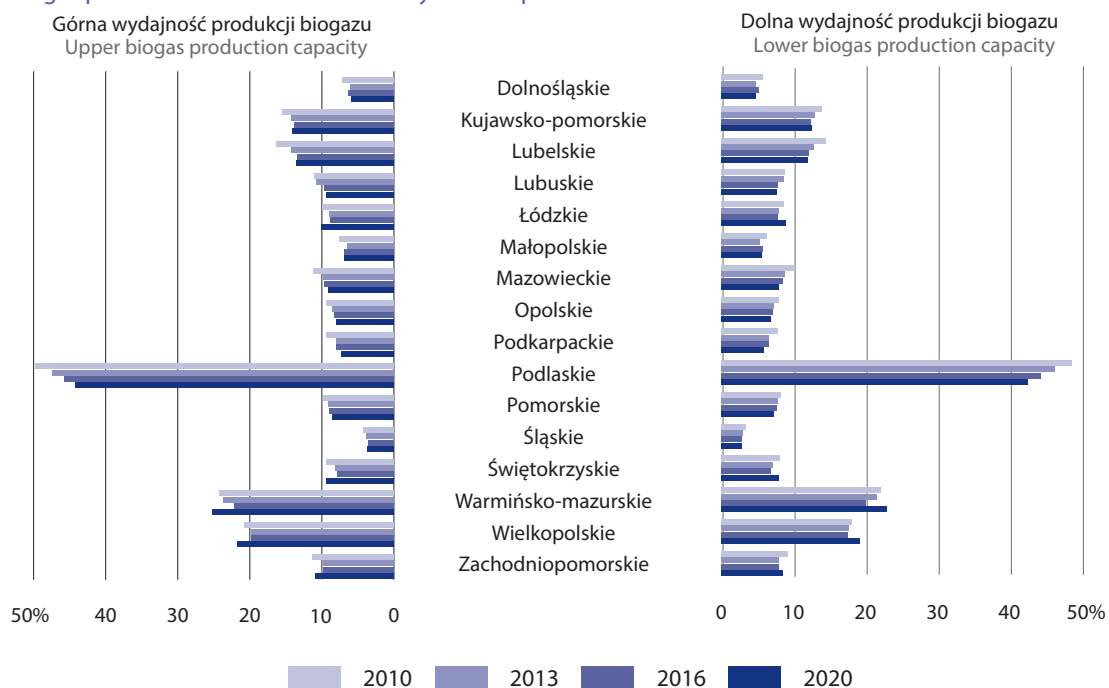
Map 1. Biogas potential in relation to covering the demand for gas sales from the network with the percentage share of each source



Przestrzenne zróżnicowanie potencjału biogazu wraz z uwzględnieniem jego znaczenia w pokryciu zapotrzebowania na gaz z sieci zostało przedstawione na mapie 1. Województwa dysponujące największym potencjałem znajdują się w centralnej oraz północno-wschodniej części kraju, ponadto w tych regionach potencjał biogazu jest w ponad połowie budowany przez nawozy naturalne. Wspomniane zróżnicowanie przestrzenne utrzymuje się przez cały badany okres 2010-2020.

Wykres 22. Potencjał biogazu względem zużycia energii elektrycznej

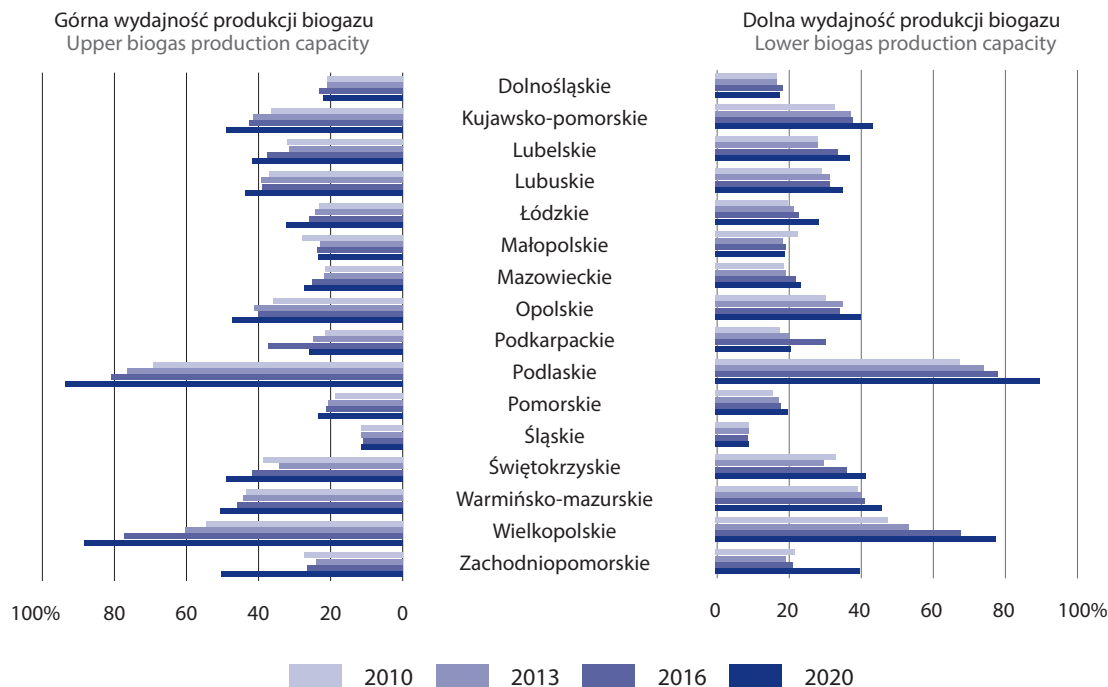
Chart 22. Biogas potential in relation to electricity consumption



W badanym okresie (2010-2020) w województwie podlaskim całkowity potencjał biogazu wykorzystany do produkcji energii elektrycznej w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć średnio od 44,9% do 46,3% zużycia energii elektrycznej. W przypadku województw warmińsko-mazurskiego oraz wielkopolskiego pokrycie zużycia energii elektrycznej osiągnęłoby poziom 21,3%-23,4% oraz 17,7%-20,1%. W województwie podkarpackim średnie pokrycie zużycia energii elektrycznej wyniosłoby od 6,7% do 8,2%, w zależności od rozpatrywanej wydajności produkcji biogazu.

Przedstawiony na wykresie 23 potencjał biogazu w województwie podlaskim wykorzystany do produkcji energii cieplnej w urządzeniach kogeneracyjnych byłby w stanie pokryć średnio od 88,8% do 91,7% sprzedaży energii cieplnej. Biogaz odegrałby także bardzo ważną rolę w pokryciu sprzedaży ciepła dla województwa wielkopolskiego (od 73,2% do 83,2%). Natomiast województwo podkarpackie byłoby w stanie pokryć od 26,3% do 32,1% sprzedaży ciepła.

Wykres 23. Potencjał biogazu względem sprzedaży energii cieplnej według województw
 Chart 23. Biogas potential in relation to heat sales by voivodship



Tablica 2. Pokrycie zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii przez potencjał biogazu według województw

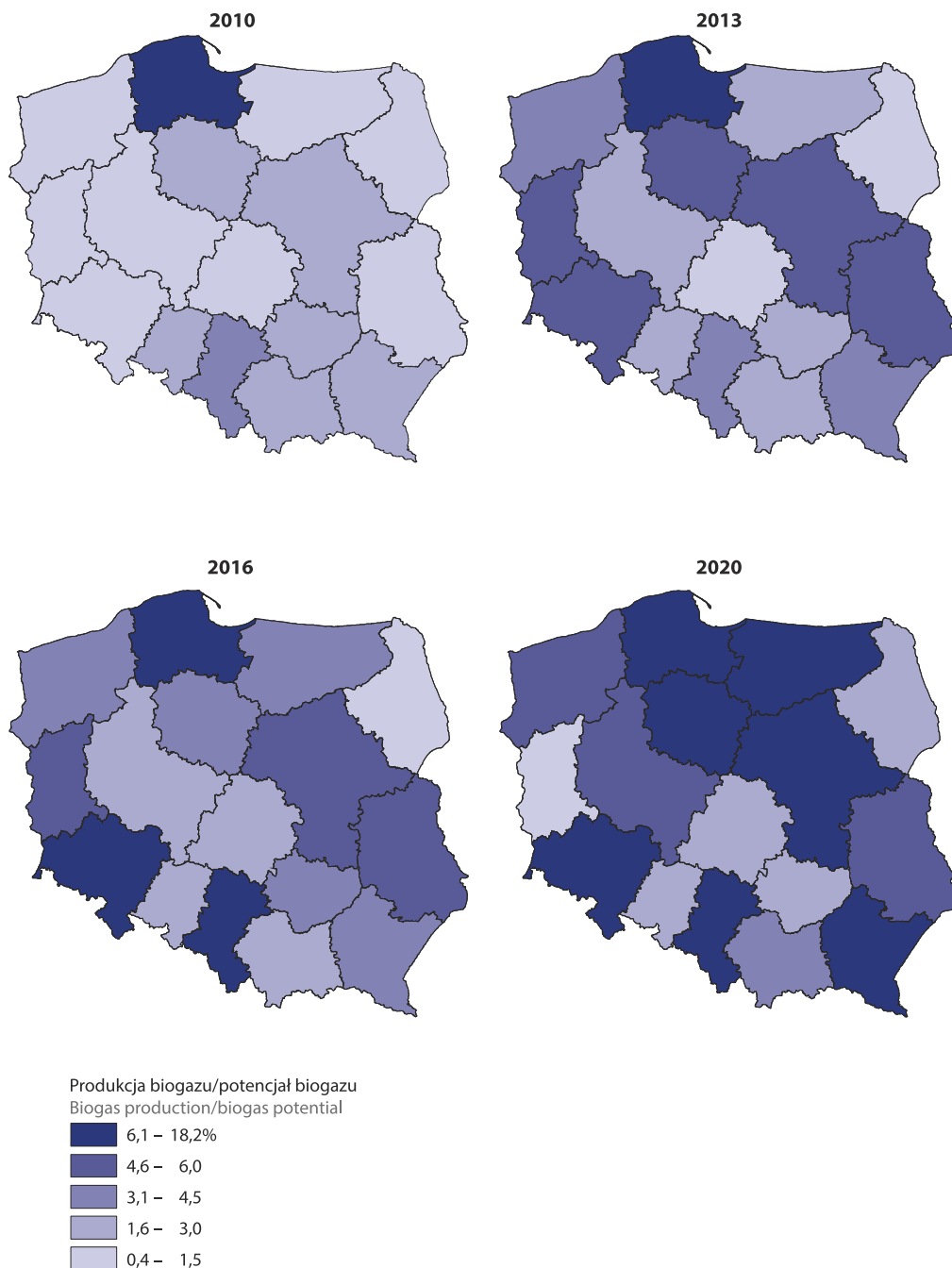
Table 2. Coverage of demand for individual energy carriers by biogas potential by voivodship

Wyszczególnienie Specification	Średnie pokrycie zapotrzebowania Average coverage of demand					
	Górna wydajność produkcji biogazu Upper biogas production capacity			Dolna wydajność produkcji biogazu Lower biogas production capacity		
	gaz z sieci gas from gas supply system	zużycia ener- gii elektrycz- nej electricity consumption	sprzedaży energii cieplnej heat sales	gaz z sieci gas from gas supply system	zużycia ener- gii elektrycz- nej electricity consumption	sprzedaży energii cieplnej heat sales
	w %		in %	w %		in %
Dolnośląskie	21,37	6,26	26,05	17,37	5,09	21,17
Kujawsko-pomorskie	28,98	14,22	48,26	26,15	12,81	43,45
Lubelskie	17,19	14,12	40,61	15,42	12,67	36,40
Lubuskie	9,49	10,37	45,93	7,69	8,40	37,21
Łódzkie	50,84	9,28	30,02	45,05	8,23	26,62
Małopolskie	19,23	6,82	27,16	15,86	5,62	22,39
Mazowieckie	24,53	9,92	27,97	21,73	8,78	24,72
Opolskie	20,13	8,53	48,54	17,26	7,31	41,59
Podkarpackie	12,80	8,20	32,06	10,51	6,74	26,30
Podlaskie	278,29	46,38	91,68	270,00	44,98	88,85
Pomorskie	26,20	9,16	23,90	22,31	7,80	20,37
Śląskie	18,24	3,70	13,26	14,56	2,96	10,59
Świętokrzyskie	28,05	8,29	46,83	24,26	7,18	40,50
Warmińsko-mazurskie	111,08	23,46	52,43	100,99	21,33	47,66
Wielkopolskie	53,46	20,15	83,23	47,07	17,75	73,27
Zachodniopomorskie	20,88	10,42	31,99	16,80	8,39	25,73

W tabeli 2 przedstawiono procentowy udział potencjału biogazu w pokryciu zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii dla dwóch rozpatrywanych wydajności produkcji biogazu.

Mapa 2. Produkcja biogazu względem potencjału biogazu

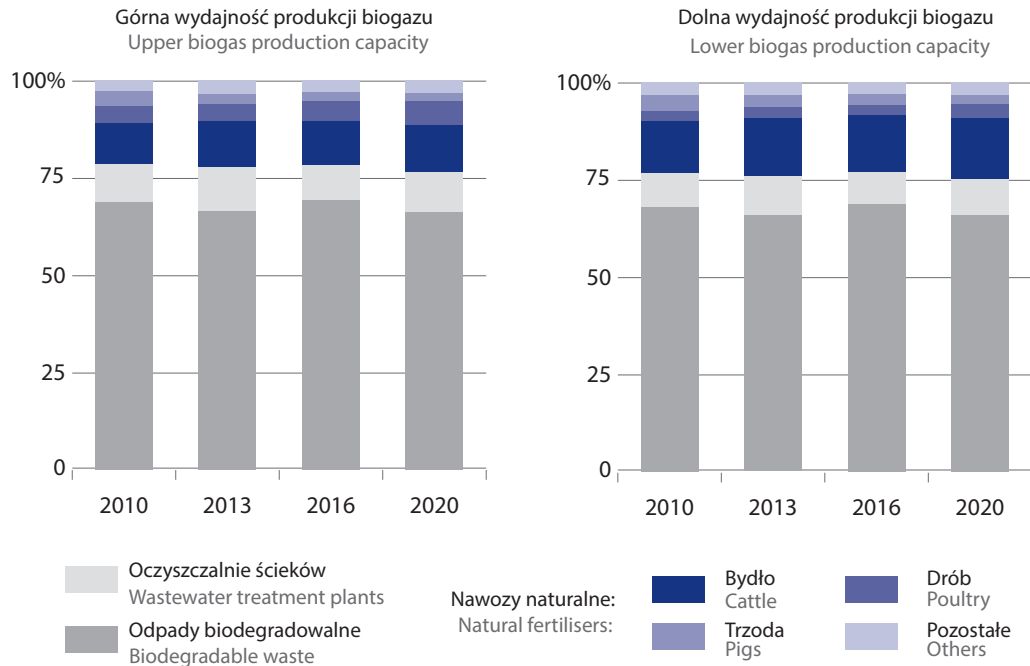
Map 2. Biogas production in relation to biogas potential



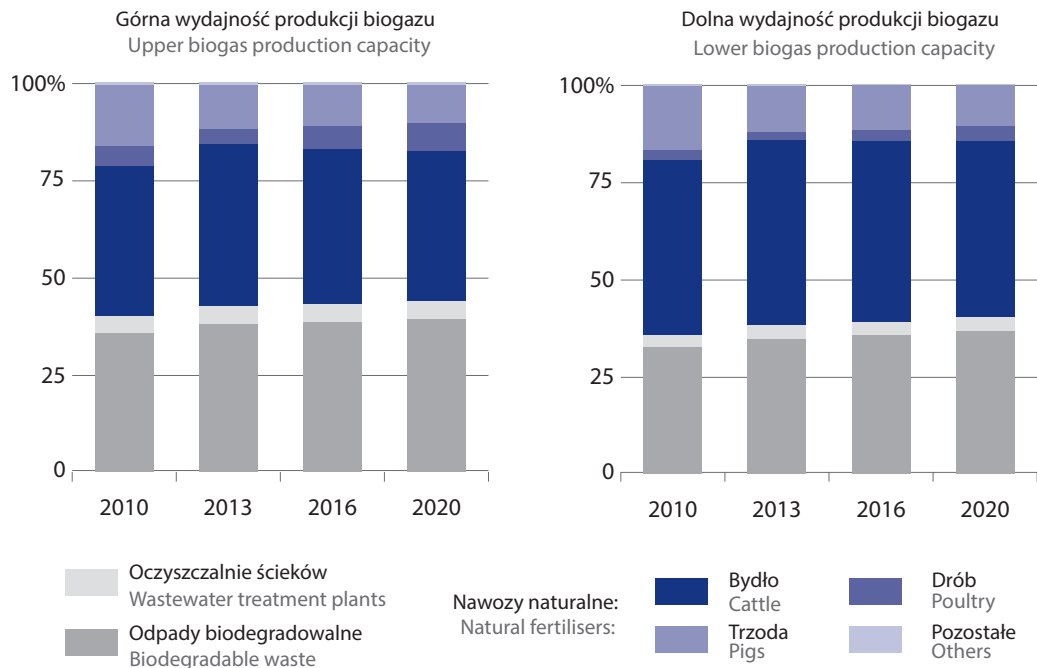
Na mapie 2 przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie wykorzystania potencjału biogazu. W badanym okresie (2010-2020) liderem pod względem produkcji biogazu w stosunku do jego potencjału pozostało województwo pomorskie (gdzie w 2020 r. wskaźnik ten wynosił od 18,2% do 21,2%). Na drugim miejscu, tuż przed województwem śląskim, plasuje się województwo podkarpackie, wykorzystujące potencjał produkcji biogazu w skali od 7,4% do 9,2% w zależności od rozpatrywanej wydajności.

Poniżej przedstawiono procentowy udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biogazu na poziomie województw.

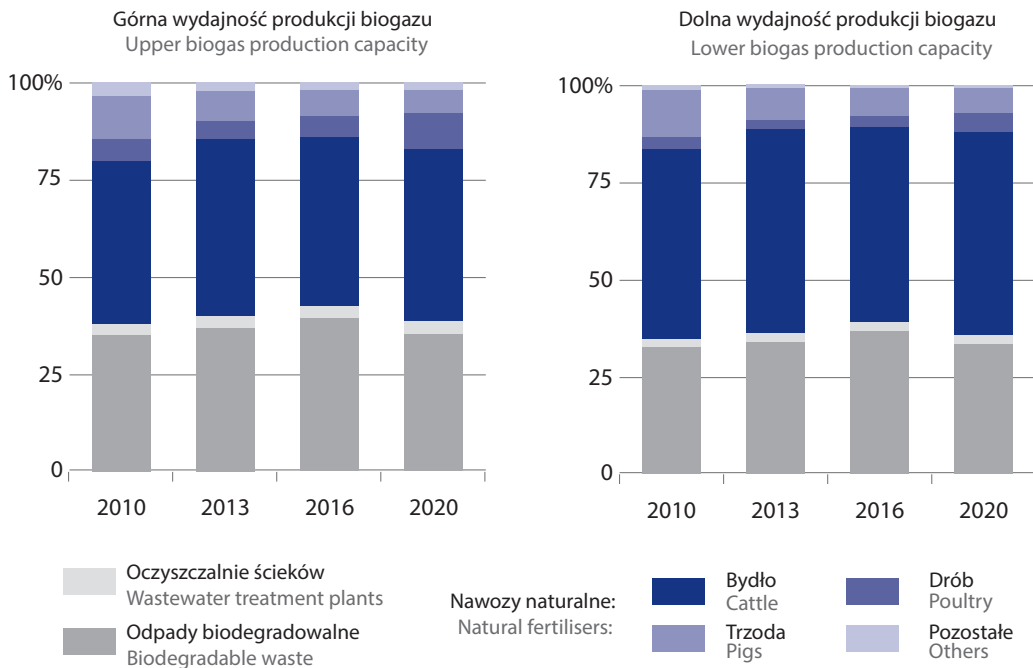
Wykres 24. Struktura potencjału biogazu województwa dolnośląskiego
Chart 24. Structure of biogas potential of Dolnośląskie Voivodship



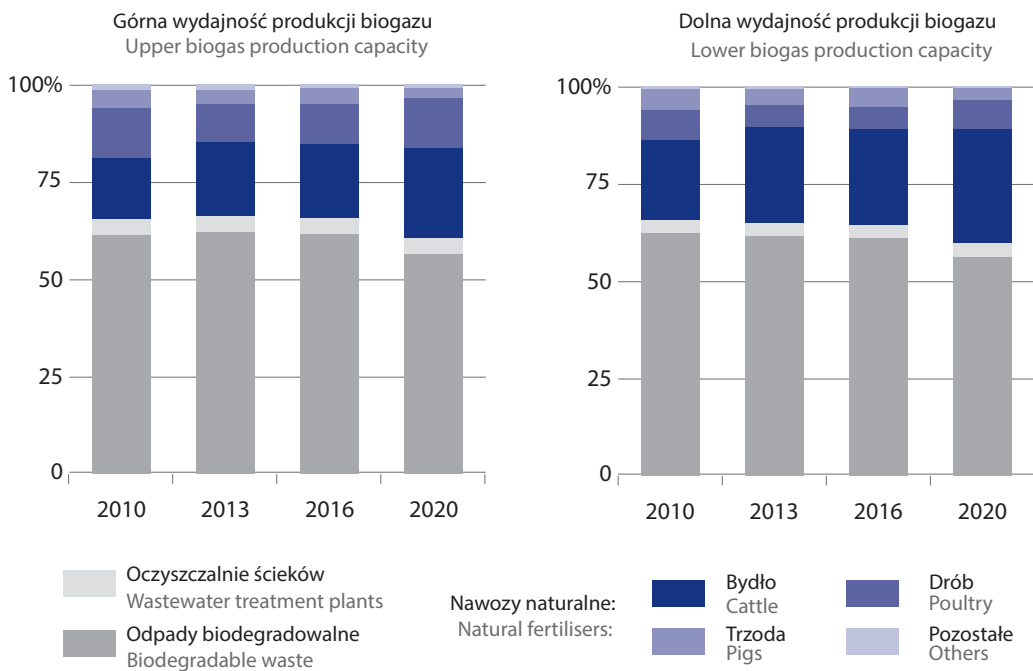
Wykres 25. Struktura potencjału biogazu województwa kujawsko-pomorskiego
Chart 25. Structure of biogas potential of Kujawsko-Pomorskie Voivodship



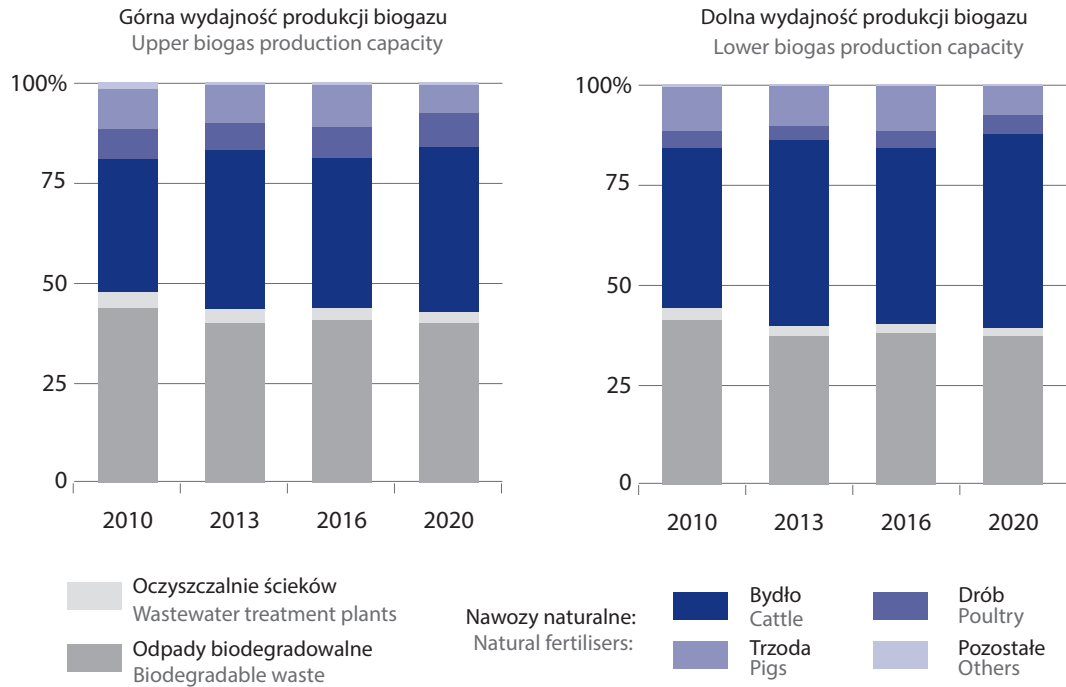
Wykres 26. Struktura potencjału biogazu województwa lubelskiego
 Chart 26. Structure of biogas potential of Lubelskie Voivodship



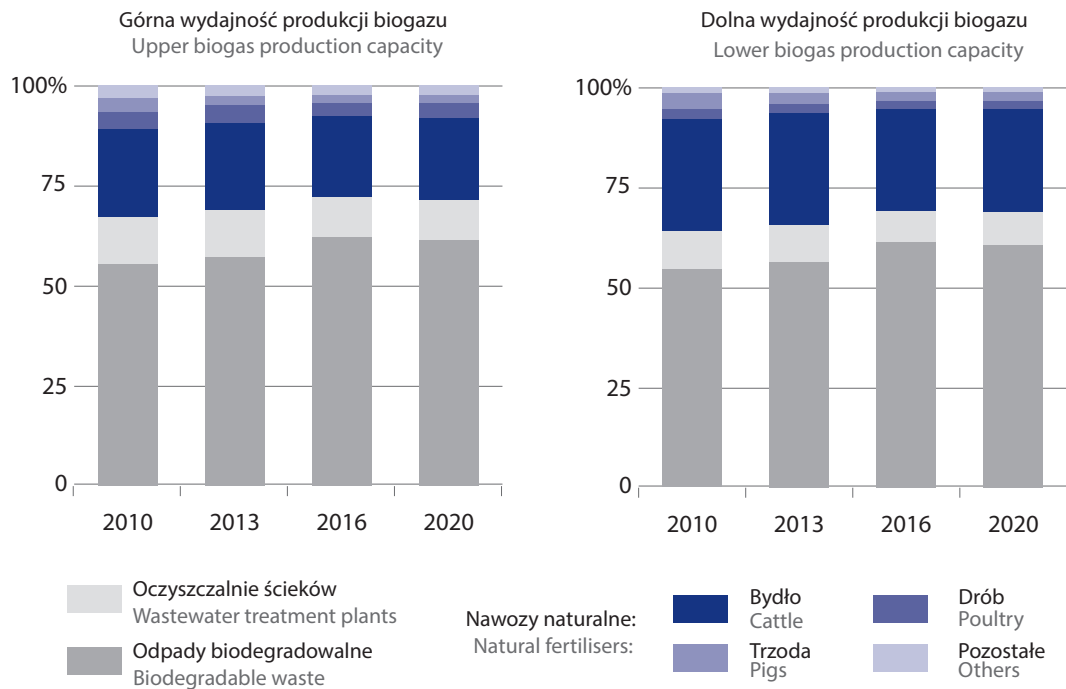
Wykres 27. Struktura potencjału biogazu województwa lubuskiego
 Chart 27. Structure of biogas potential of Lubuskie Voivodship



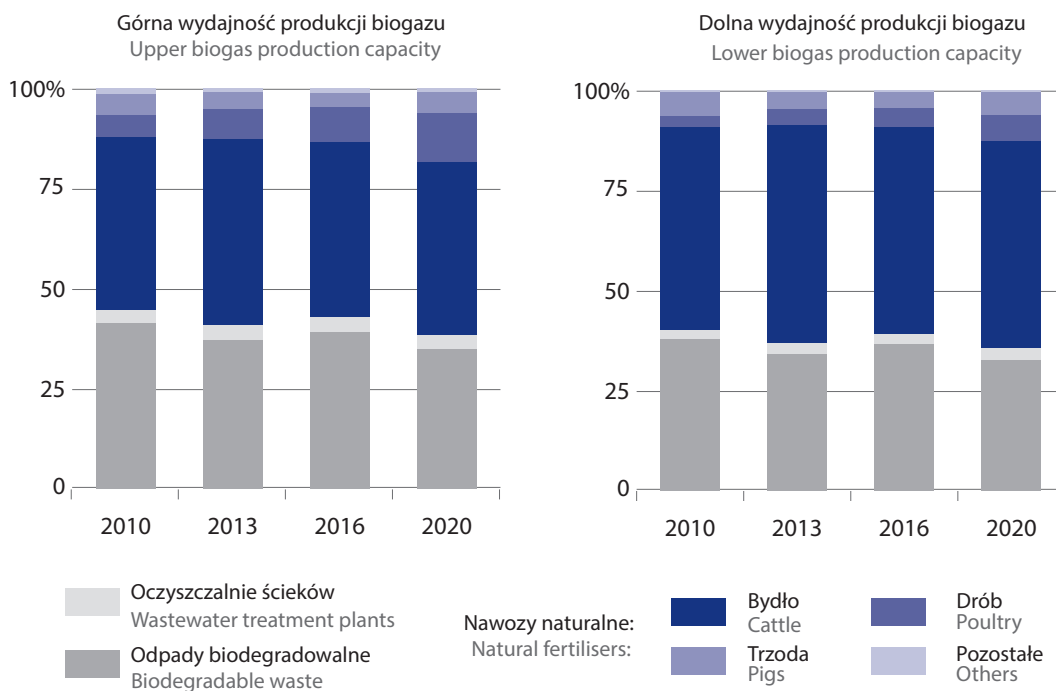
Wykres 28. Struktura potencjału biogazu województwa łódzkiego
Chart 28. Structure of biogas potential of Łódzkie Voivodship



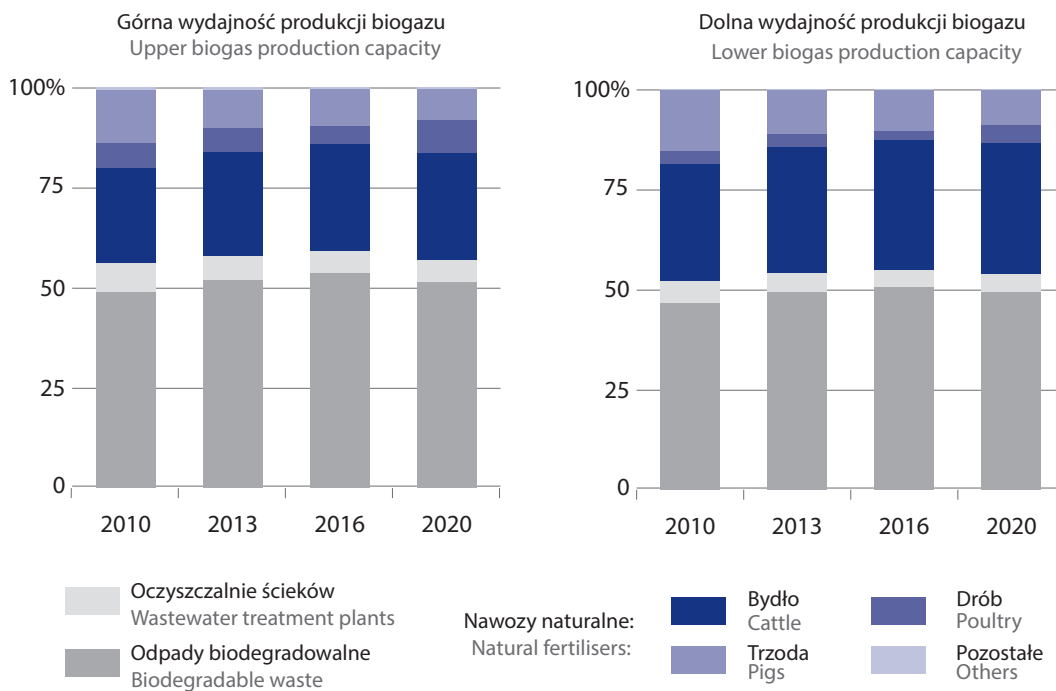
Wykres 29. Struktura potencjału biogazu województwa małopolskiego
Chart 29. Structure of biogas potential of Małopolskie Voivodship



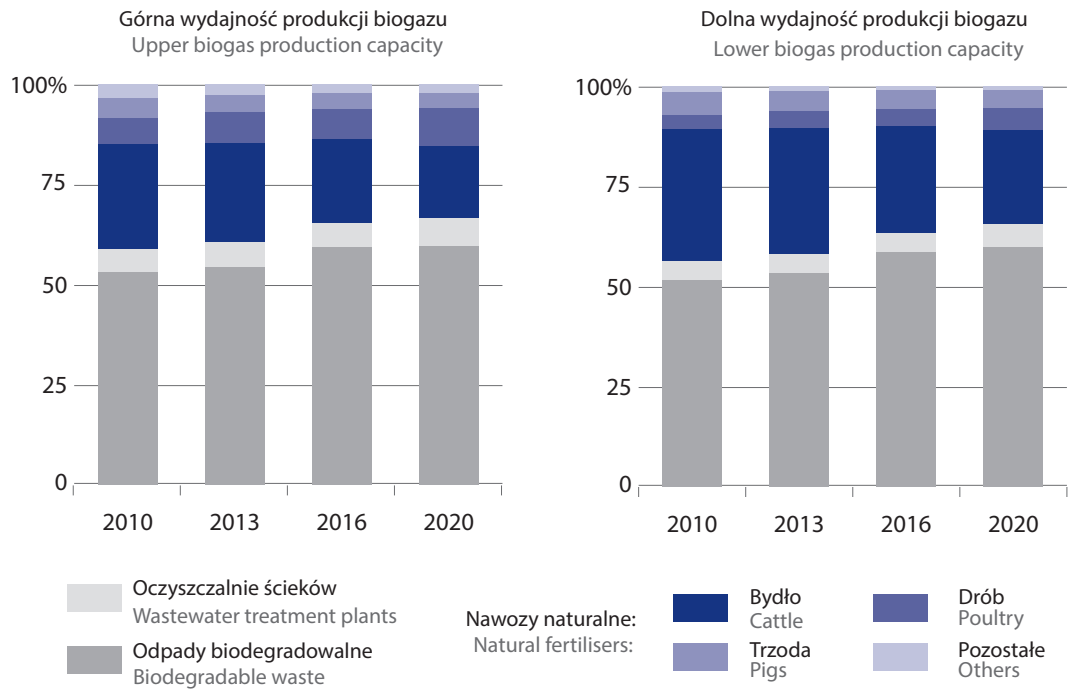
Wykres 30. Struktura potencjału biogazu województwa mazowieckiego
 Chart 30. Structure of biogas potential of Mazowieckie Voivodship



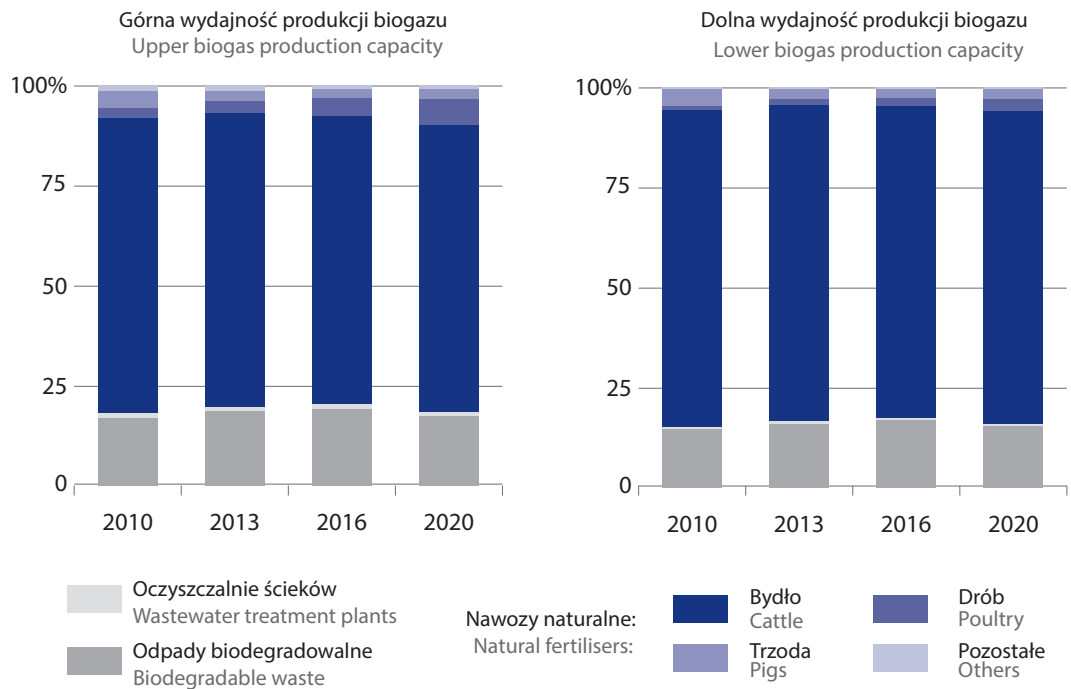
Wykres 31. Struktura potencjału biogazu województwa opolskiego
 Chart 31. Structure of biogas potential of Opolskie Voivodship



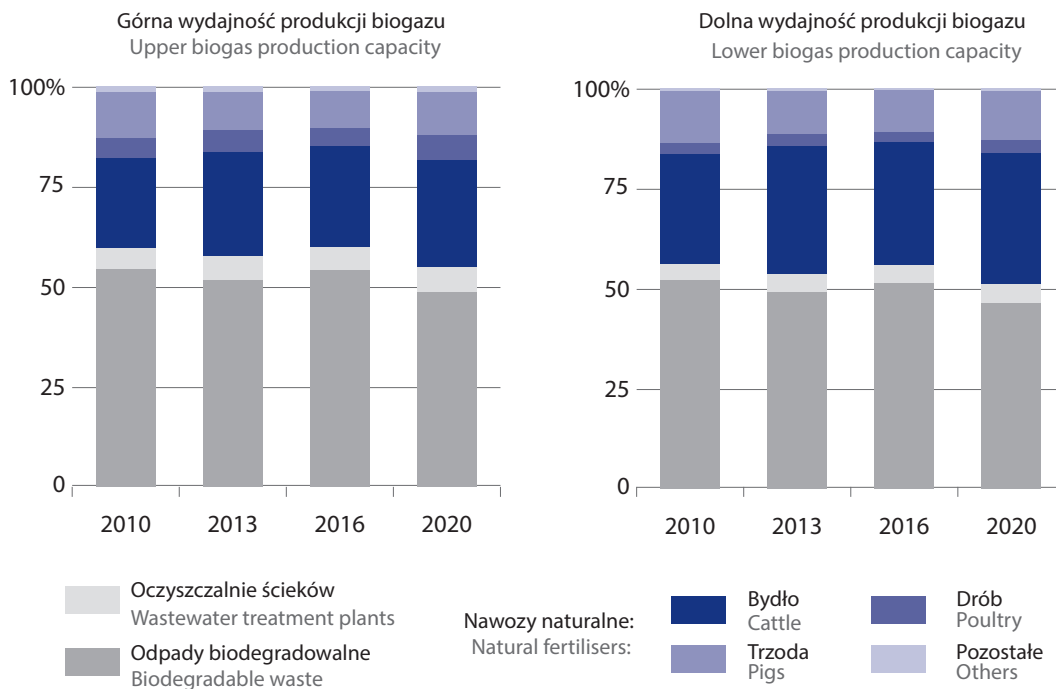
Wykres 32. Struktura potencjału biogazu województwa podkarpackiego
Chart 32. Structure of biogas potential of Podkarpackie Voivodship



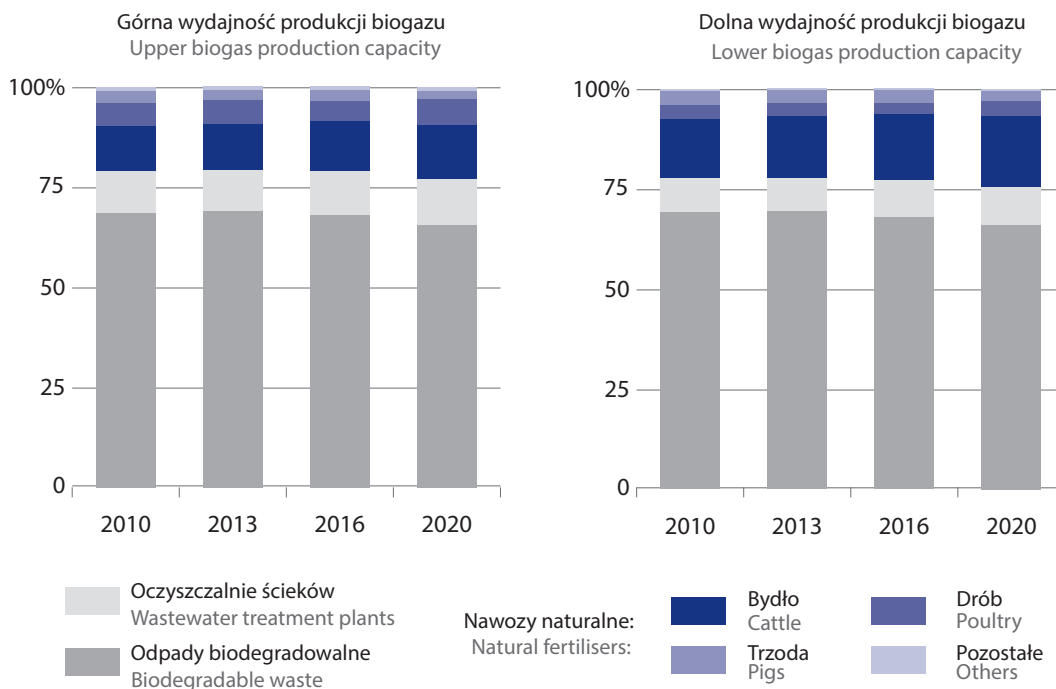
Wykres 33. Struktura potencjału biogazu województwa podlaskiego
Chart 33. Structure of biogas potential of Podlaskie Voivodship



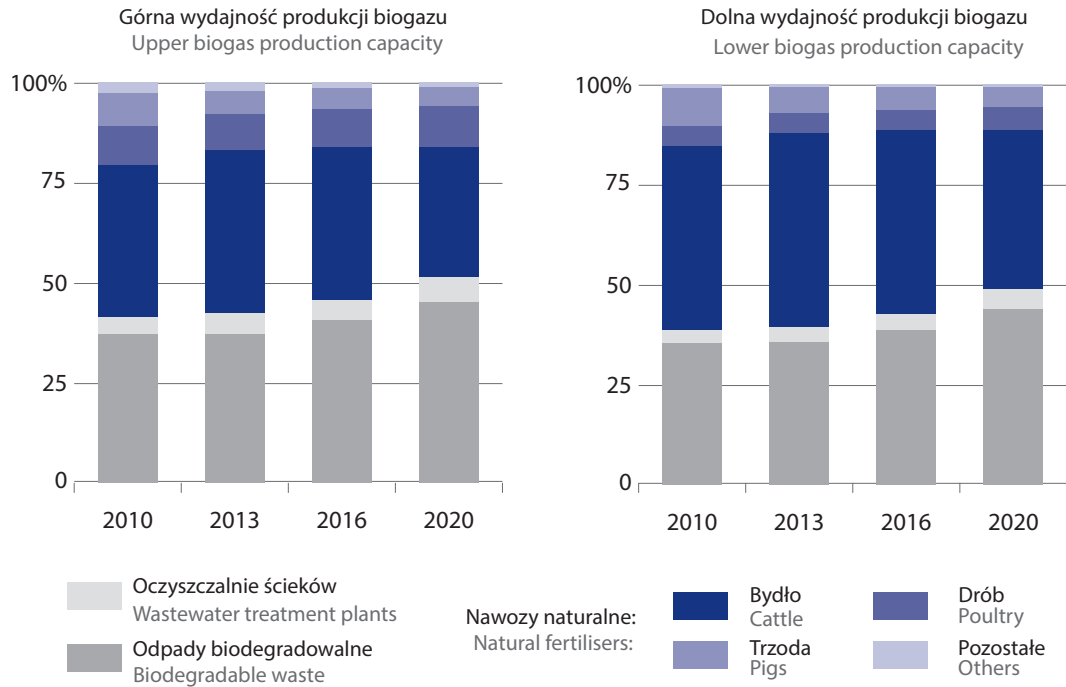
Wykres 34. Struktura potencjału biogazu województwa pomorskiego
 Chart 34. Structure of biogas potential of Pomorskie Voivodship



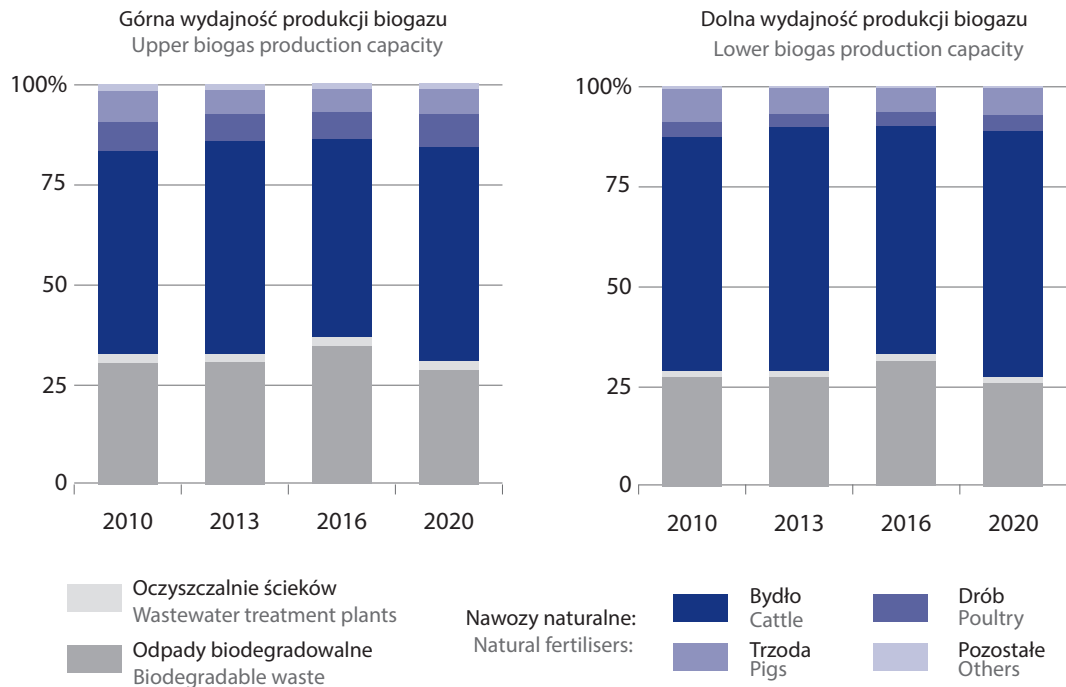
Wykres 35. Struktura potencjału biogazu dla województwa śląskiego
 Chart 35. Structure of biogas potential of Śląskie Voivodship



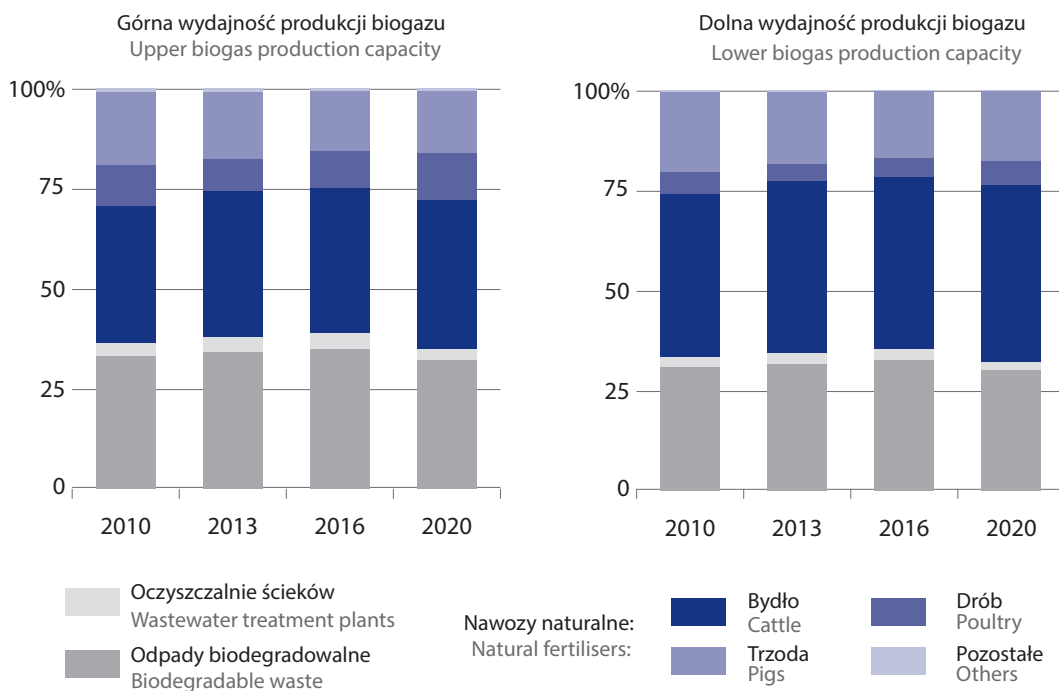
Wykres 36. Struktura potencjału biogazu dla województwa świętokrzyskiego
 Chart 36. Structure of biogas potential of Świętokrzyskie Voivodship



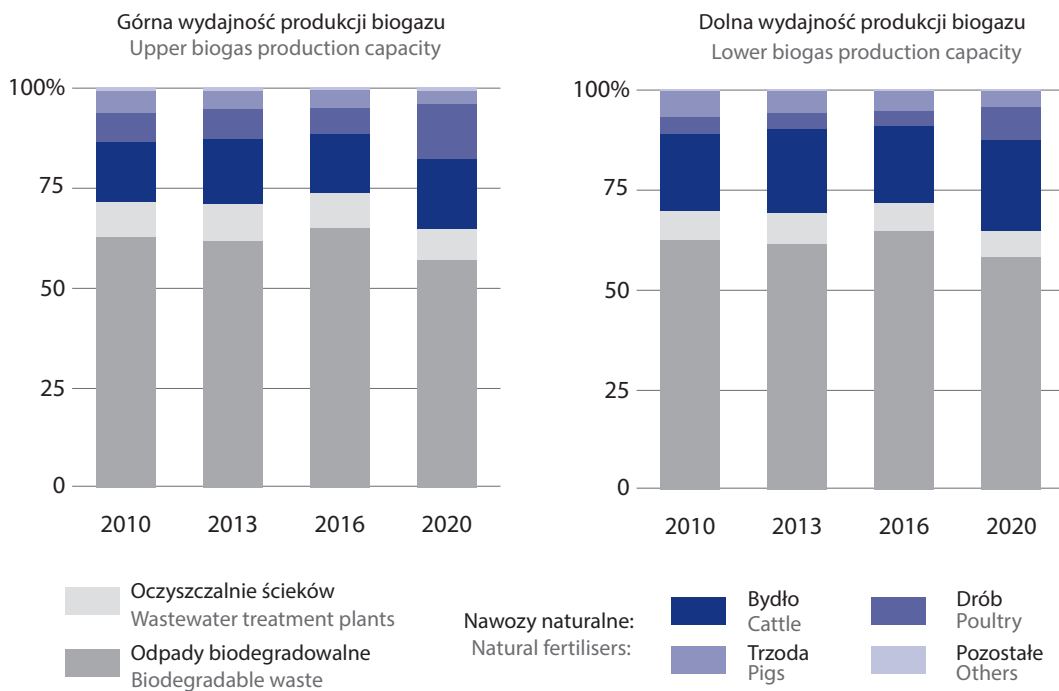
Wykres 37. Struktura potencjału biogazu dla województwa warmińsko-mazurskiego
 Chart 37. Structure of biogas potential of Warmińsko-Mazurskie Voivodship



Wykres 38. Struktura potencjału biogazu dla województwa wielkopolskiego
 Chart 38. Structure of biogas potential of Wielkopolskie Voivodship



Wykres 39. Struktura potencjału biogazu dla województwa zachodniopomorskiego
 Chart 39. Structure of biogas potential of Zachodniopomorskie Voivodship



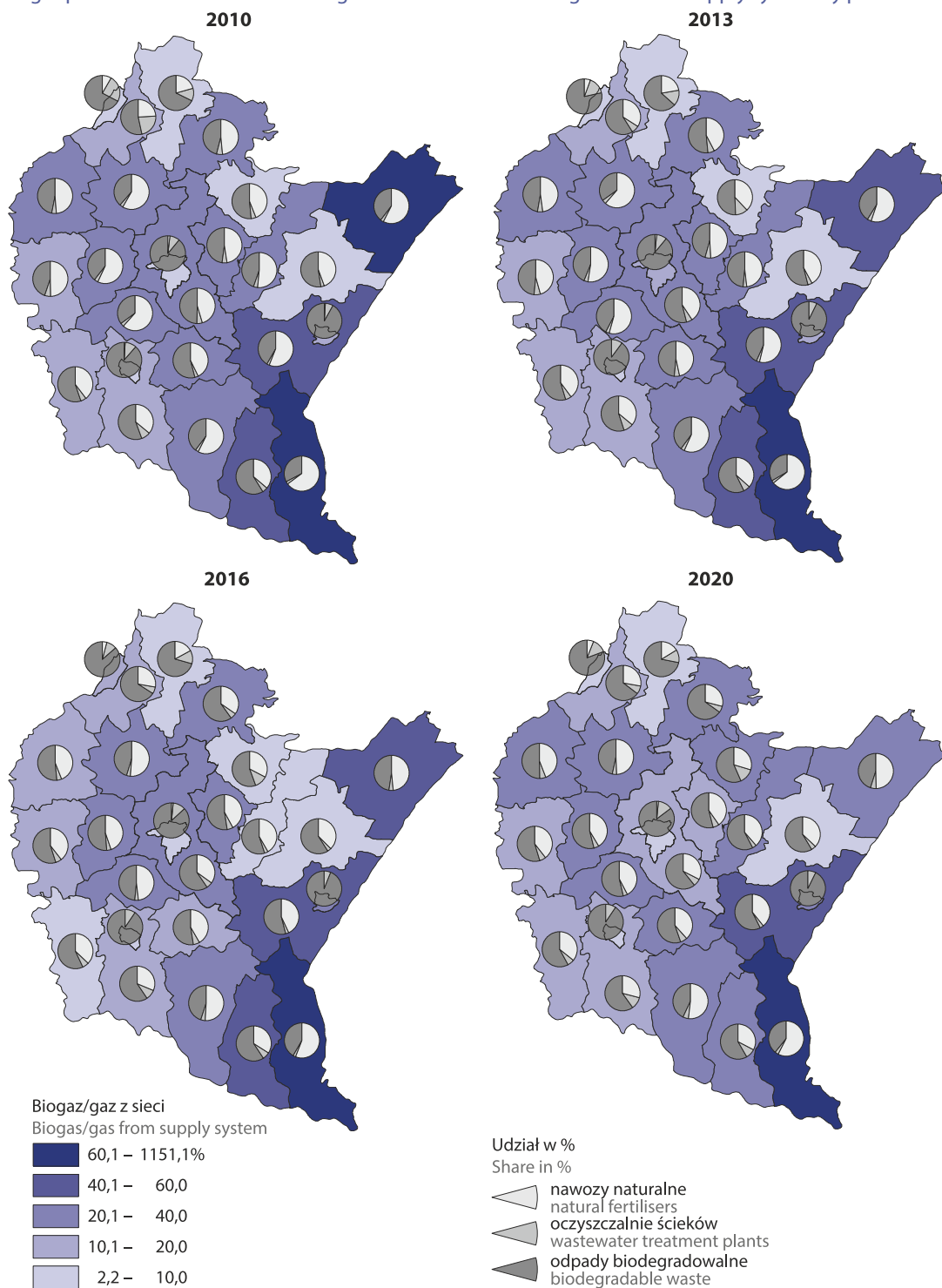
Biorąc pod uwagę procentowy udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biogazu, województwa można podzielić na trzy grupy. Pierwszą grupę tworzą województwa, w przypadku których odpady biodegradowalne dla obu badanych wydajności produkcji biogazu stanowią ponad 50% potencjału. W skład tej grupy wchodzi województwa: dolnośląskie, lubuskie, małopolskie, podkarpackie, śląskie oraz zachodniopomorskie, a więc województwa, w których potencjał biogazu mógłby pokryć od 7% do ponad 20% zapotrzebowania na gaz z sieci. W przypadku drugiej grupy udział odpadów biodegradowalnych oscyluje w granicach 50% w zależności od roku badania oraz rozpatrywanych wydajności produkcji biogazu. W skład drugiej grupy wchodzi województwa opolskie oraz pomorskie; w ich przypadku potencjał biogazu mógłby pokryć od ponad 17% do około 26% zapotrzebowania na gaz z sieci. Trzecia grupa, do której należą województwa: kujawsko-pomorskie, lubelskie, łódzkie, mazowieckie, podlaskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie oraz wielkopolskie charakteryzuje się udziałem nawozów naturalnych przekraczającym 50% potencjału biogazu.

W przypadku tej grupy potencjał biogazu mógłby pokryć od 15% do ponad 278% (województwo podlaskie) zapotrzebowania na gaz z sieci.

2.1.2. Potencjał biogazu na poziomie powiatów dla województwa podkarpackiego

2.1.2. Biogas potential at powiat level for Podkarpackie Voivodship

Mapa 3. Potencjał biogazu względem pokrycia zapotrzebowania na sprzedaż gazu z sieci według powiatów
 Map 3. Biogas potential in relation to covering the demand for sales of gas from the supply system by powiat

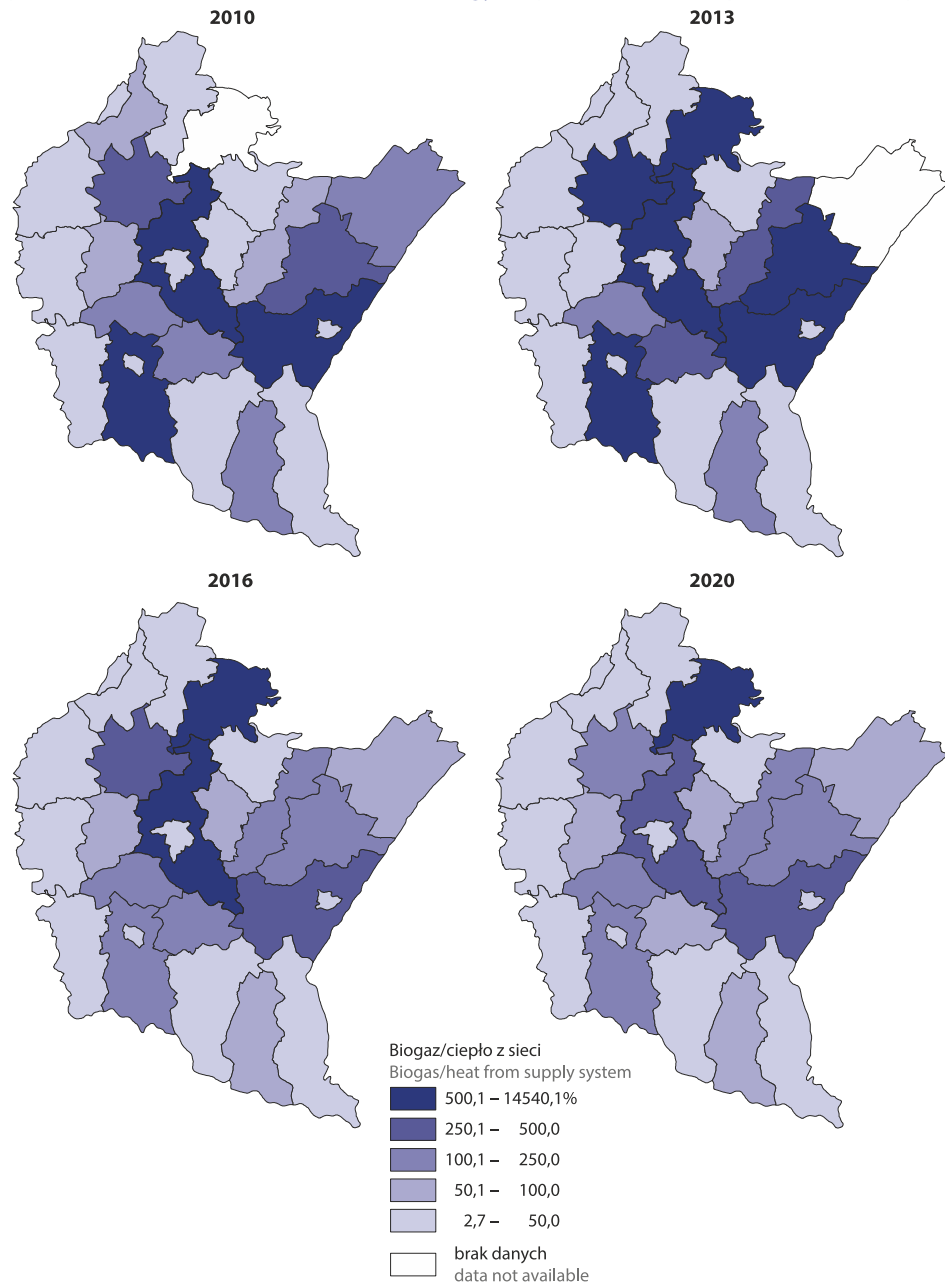


W badanych latach (2010-2020) potencjał biogazu w powiatach grodzkich województwa podkarpackiego budowany był głównie przez odpady biodegradowalne, których średni udział wyniósł od 86,8% do 88,4%. Natomiast na oczyszczalnie ścieków przypadało od 9,1% do 10,8% potencjału.

W przypadku powiatów ziemskich głównym źródłem budującym potencjał biogazu nadal pozostają odpady biodegradowalne, jednak ich udział jest znacznie mniejszy (ponad 50%), natomiast na nawozy naturalne przypadało od 42,8% do 44,7%. W przypadku powiatów ziemskich potencjał biogazu mógłby pokryć średnio od 50,6% do 54,4% zużycia gazu z sieci, natomiast dla powiatów grodzkich byłoby to jedynie od 7,7% do 10,4%.

Mapa 4. Potencjał biogazu względem sprzedaży energii ciepłej dla powiatów województwa podkarpackiego

Map 4. Biogas potential in relation to sales of thermal energy for powiats of Podkarpackie Voivodship



W przypadku powiatów grodzkich potencjał biogazu wykorzystany w całości do produkcji ciepła w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć średnio od 5,5% do 8,6% sprzedaży energii cieplnej. Potencjał biogazu odegrałby ważniejszą rolę w przypadku powiatów ziemskich, średnio mógłby on pokryć ponad 96,3% sprzedaży energii cieplnej w 2020 r.

2.2. Potencjał biomasy stałej

2.2. Solid biomass potential

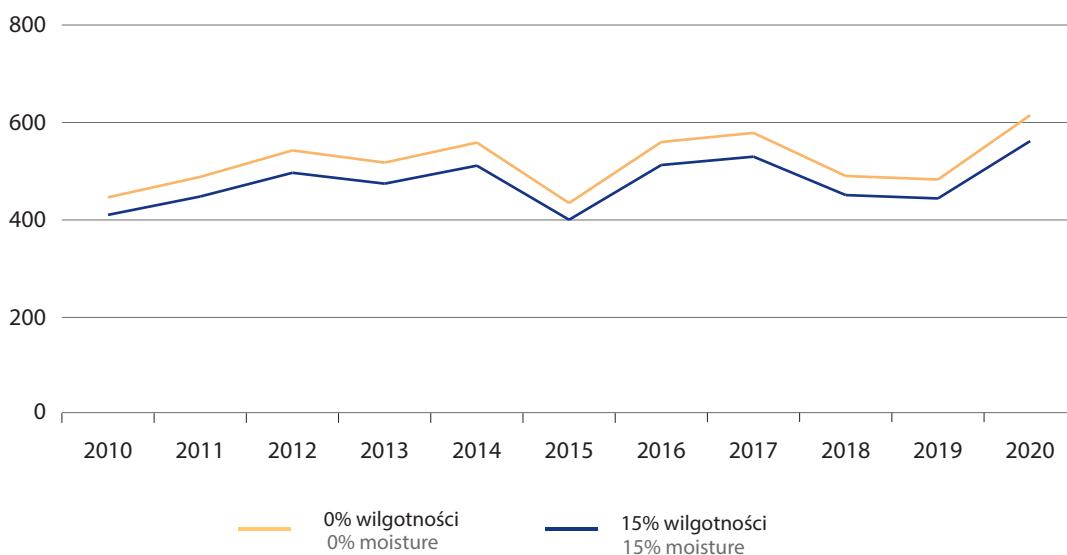
Poniziej przedstawione zostały wyniki uzyskane w ramach badań polskiej statystyki publicznej dotyczące potencjału biomasy stałej.

Na wykresie 40 przedstawiono dane dotyczące potencjału biomasy stałej dla dwóch rozpatrywanych wilgotności w latach 2010-2020.

Wykres 40. Potencjał biomasy stałej w Polsce

Chart 40. Solid biomass potential in Poland

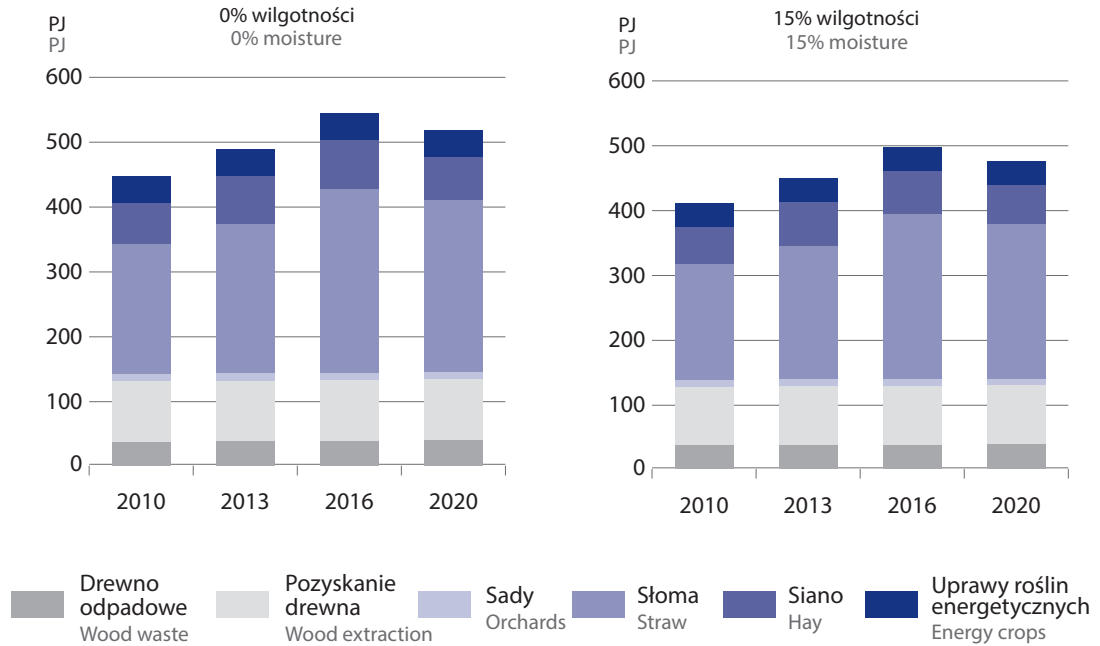
PJ



Potencjał biomasy stałej w skali kraju został oszacowany dla dwóch rozpatrywanych wilgotności. W badanym okresie 2010-2020 wykazuje on tendencję wzrostową, z wyjątkiem lat: 2015, 2018 i 2019, w których odnotowano duże spadki. Średnia arytmetyczna potencjału biomasy stałej obliczona z uwzględnieniem obu rozpatrywanych wilgotności wyniosła ponad 498 PJ.

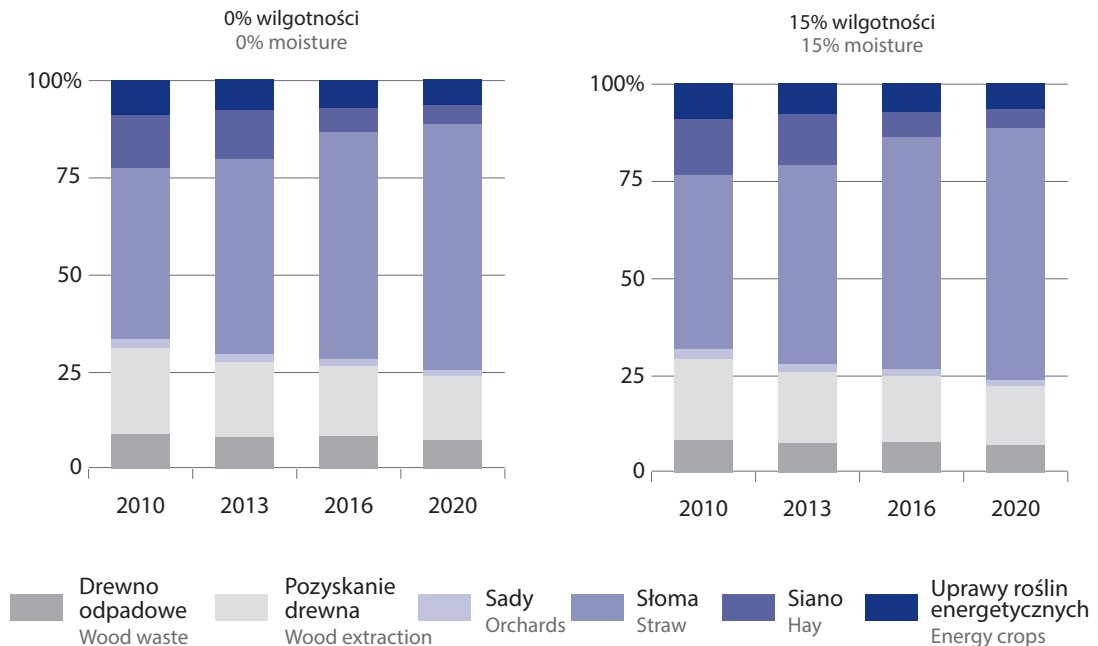
Wykres 41. Potencjał biomasy stałej dla dwóch badanych wilgotności wraz z udziałem poszczególnych źródeł w Polsce

Chart 41. Solid biomass potential for the two studied moistures with the share of individual sources in Poland



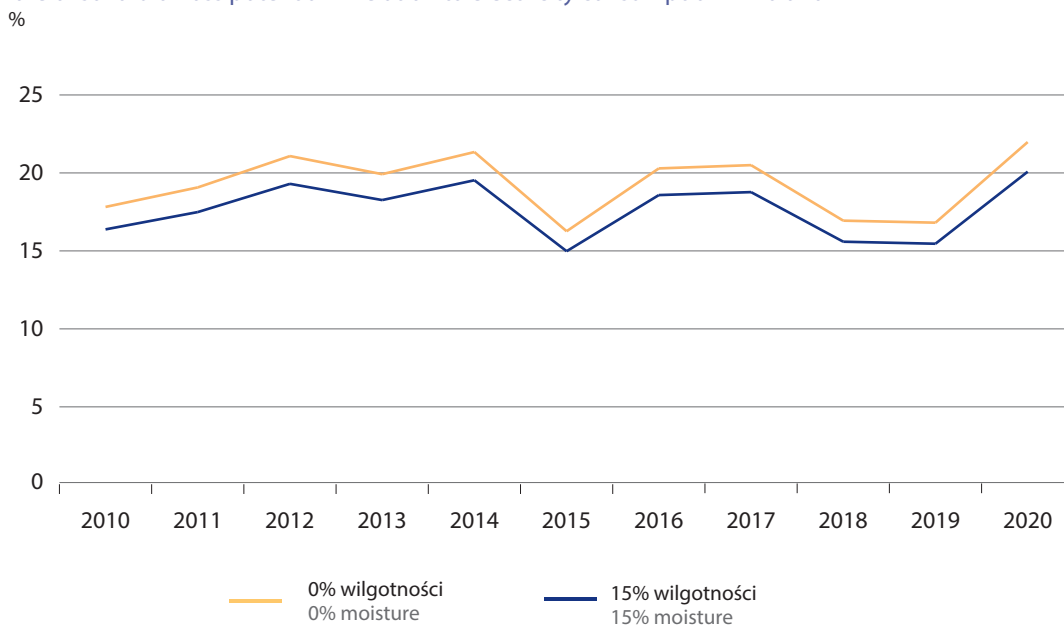
Wykres 42. Procentowy udział poszczególnych źródeł w budowaniu potencjału biomasy stałej w Polsce

Chart 42. Percentage share of individual sources in building solid biomass potential in Poland



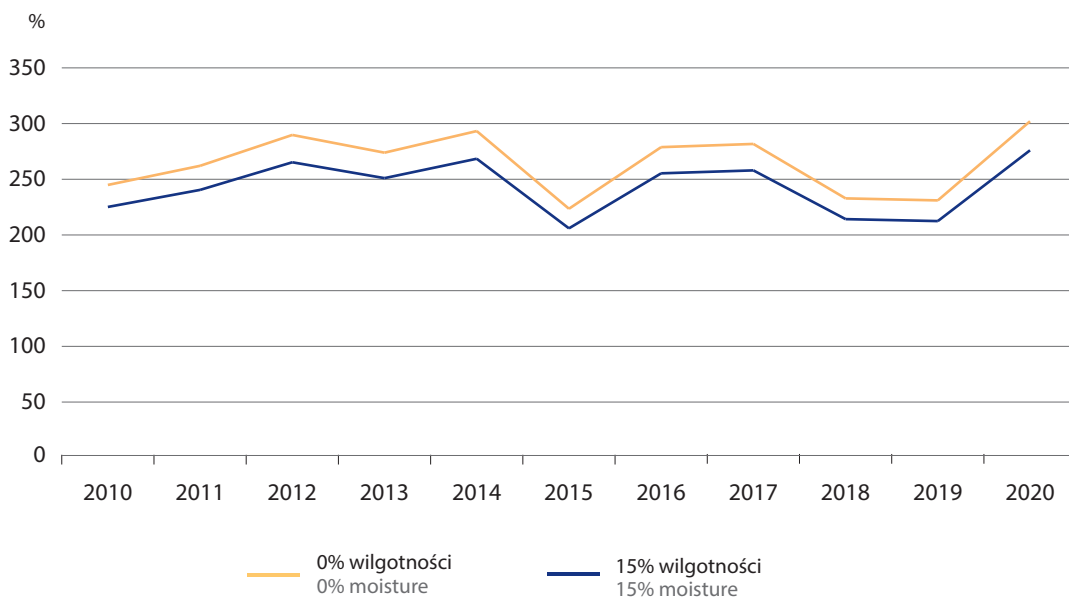
W badanym okresie 2010-2020 największy udział w budowaniu potencjału biomasy stałej miała słoma a następnie drewno pochodzące z cięć przedrębnych i pielęgnacyjnych (pozyskanie drewna). Warto zauważyć, że udział słomy stopniowo rósł zarówno dla 15% wilgotności (z 43,7% w 2010 r. do 63,2% w 2020 r.), jak i dla 0% wilgotności (z 44,8% w 2010 r. do 64,5% w 2020 r.). Natomiast pozyskanie drewna wykazywało większą stabilność, utrzymując się na średnim poziomie 18,2%-19,4%.

Wykres 43. Udział potencjału biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej w Polsce
 Chart 43. Share of solid biomass potential in relation to electricity consumption in Poland



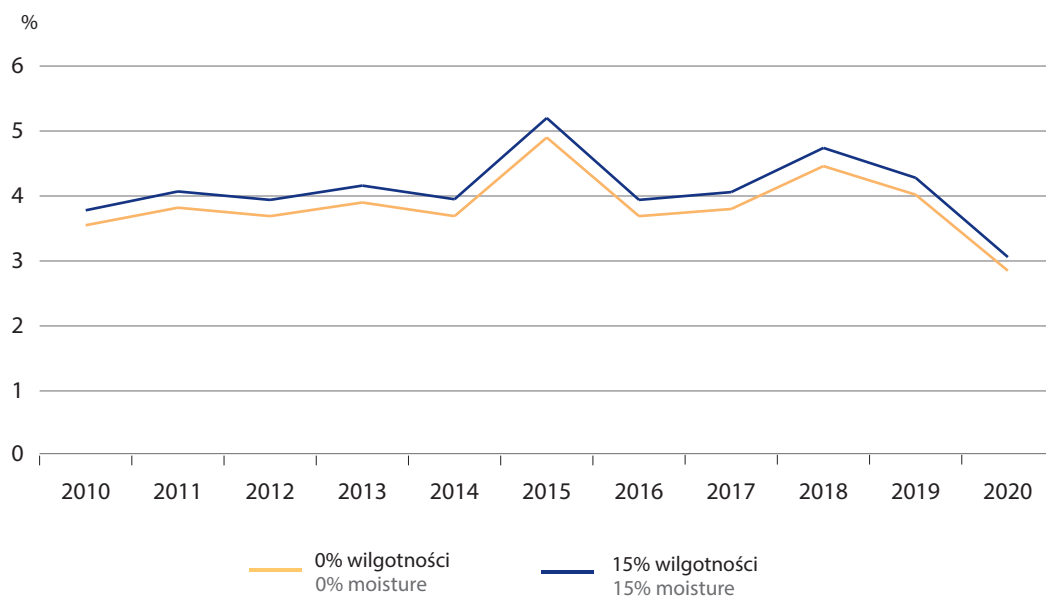
Potencjał biomasy stałej wykorzystany w całości do produkcji energii elektrycznej w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć od 17,7% do 19,3% zużycia energii elektrycznej w okresie 2010-2020.

Wykres 44. Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży ciepła z sieci w Polsce
 Chart 44. Share of solid biomass potential in relation to the sale of heat from the supply system in Poland



W 2010 r. energia cieplna wyprodukowana w urządzeniach kogeneracyjnych z wykorzystaniem całości potencjału biomasy stałej mogłaby pokryć od 225,1% do 244,9% zużycia energii cieplnej w kraju. Natomiast w 2020 r. pokrycie sprzedaży ciepła byłoby wyższe od 276,2% do 302,1%.

Wykres 45. Udział zużycia drewna na opał względem potencjału biomasy stałej w Polsce
 Chart 45. Share of firewood consumption in relation to solid biomass potential in Poland



W badanym okresie 2010-2020 potencjał biomasy stałej był wykorzystywany średnio w 3,9%, biorąc pod uwagę obydwie rozpatrywane wilgotności.

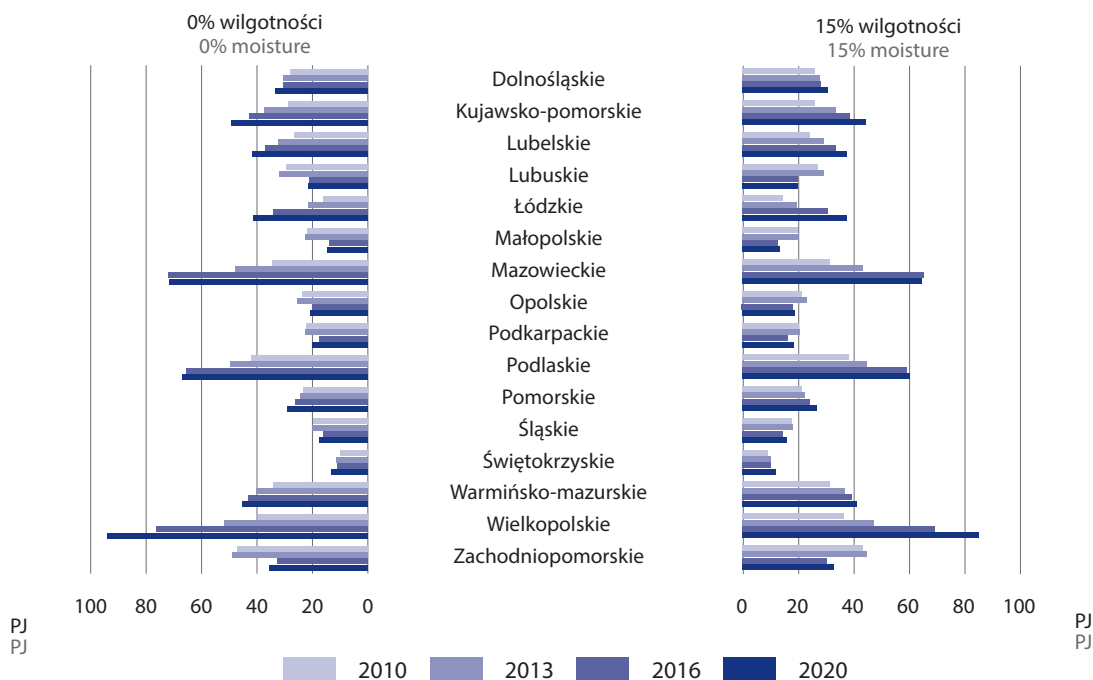
2.2.1. Potencjał biomasy stałej na poziomie wojewódzkim

2.2.1. Solid biomass potential at voivodship level

Na wykresie 46 przedstawiono dane dotyczące potencjału biomasy stałej dla dwóch rozpatrywanych wilgotności w latach 2010-2020. Otrzymane wyniki stanowią sumę potencjału pochodzącego z drewna pozyskanego (cięcia przedrębne i pielęgnacyjne), odpadowego, sadów, słomy, siana oraz upraw roślin energetycznych.

Wykres 46. Potencjał biomasy stałej według województw

Chart 46. Solid biomass potential by voivodship



W badanym okresie (2010-2020) największy średni potencjał biomasy stałej wykazywały województwa wielkopolskie, mazowieckie oraz podlaskie. Województwo podkarpackie ze średnim potencjałem wynoszącym od 17,16 PJ do 18,38 PJ plasuje się na 13. miejscu w kraju dla obu rozpatrywanych wilgotności biomasy stałej.

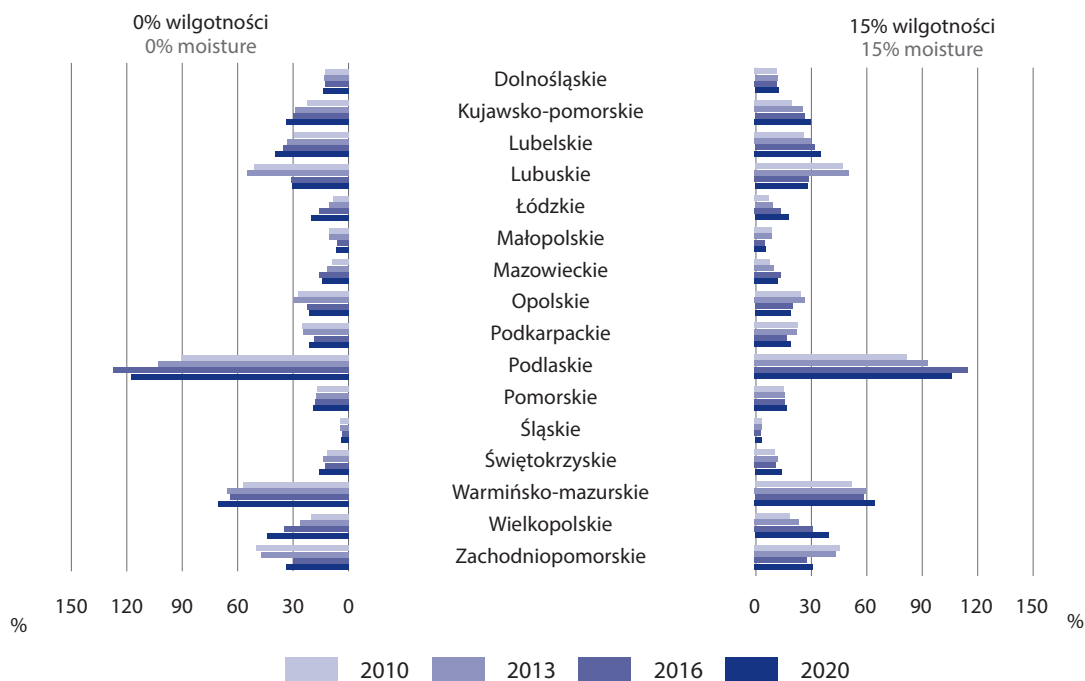
Tablica 3. Potencjał biomasy stałej według województw w latach 2010-2020

Table 3. Solid biomass potential by voivodship in 2010-2020

Wyszczególnienie Specification	Potencjał biomasy stałej Solid biomass potential					
	0% wilgotności 0% moisture			15% wilgotności 15% moisture		
	średni po- tencjał PJ average PJ potential	minimalny potencjał PJ minimum PJ potential	maksymalny potencjał PJ maximum PJ potential	średni po- tencjał PJ average PJ potential	minimalny potencjał PJ minimum PJ potential	maksymalny potencjał PJ maximum PJ potential
Dolnośląskie	29,99	25,11	35,84	27,69	23,35	32,93
Kujawsko-pomorskie	38,12	28,60	49,13	34,67	26,09	44,55
Lubelskie	34,03	26,60	41,60	31,01	24,33	37,81
Lubuskie	22,66	17,33	31,90	21,30	16,58	29,55
Łódzkie	29,53	16,08	41,46	26,84	14,78	37,54
Małopolskie	15,53	11,16	22,42	14,33	10,42	20,49
Mazowieckie	61,92	34,40	73,98	56,27	31,58	67,08
Opolskie	19,61	15,09	25,57	17,91	13,86	23,23
Podkarpackie	18,38	15,18	22,52	17,16	14,30	20,87
Podlaskie	54,72	41,10	66,78	49,66	37,48	60,45
Pomorskie	26,01	23,27	29,36	24,13	21,60	27,28
Śląskie	15,79	11,50	19,90	14,56	10,71	18,22
Świętokrzyskie	11,37	9,82	13,08	10,54	9,13	12,08
Warmińsko-mazurskie	39,19	31,36	48,19	36,06	29,08	44,08
Wielkopolskie	66,74	39,68	93,97	60,84	36,54	85,23
Zachodniopomorskie	35,98	27,79	48,80	33,50	26,22	44,97

W tablicy 3 zebrano średnie, górne oraz dolne wartości potencjału biomasy stałej dla okresu 2010-2020.

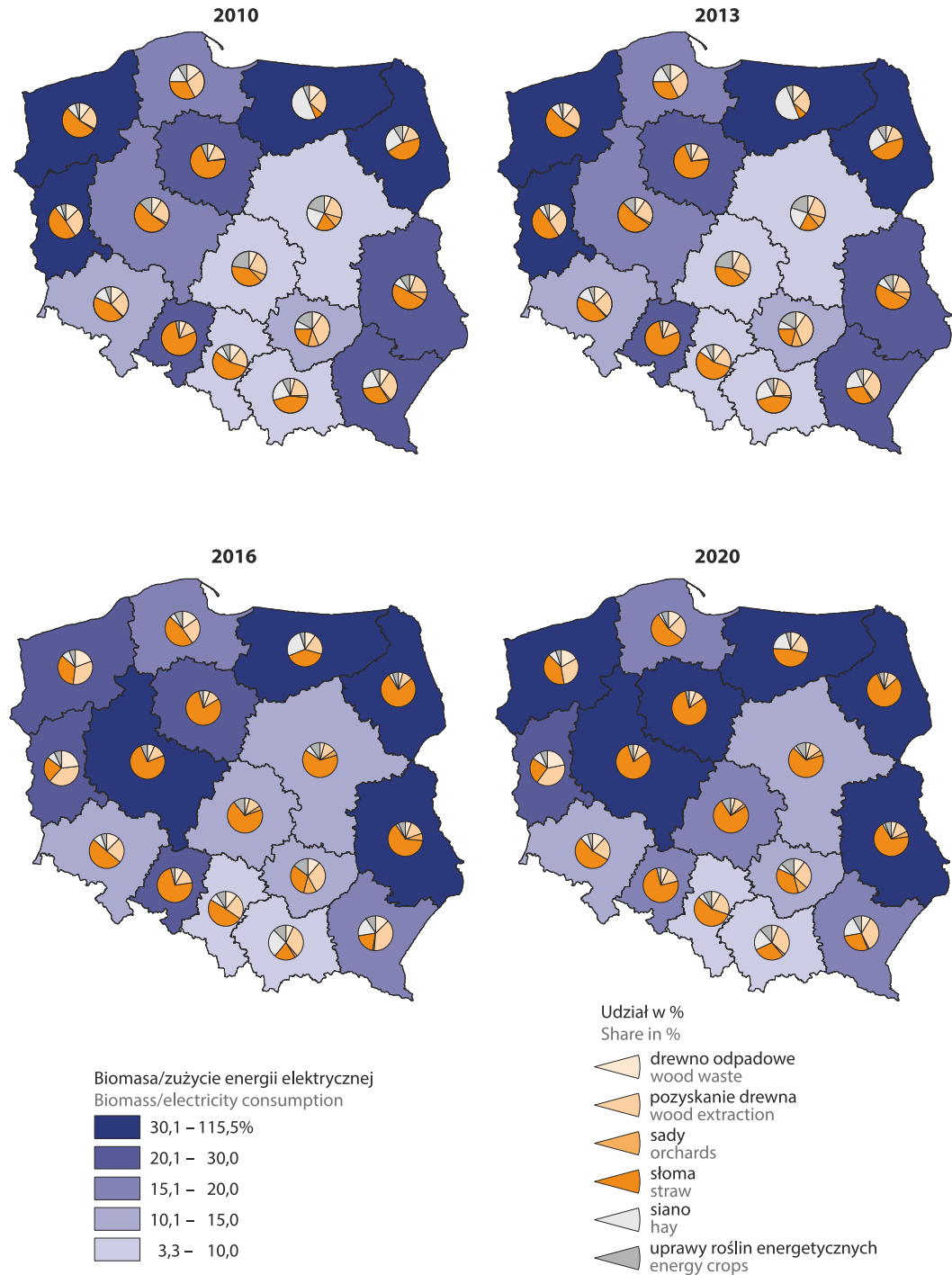
Wykres 47. Udział potencjału biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej według województw
 Chart 47. Share of solid biomass potential in relation to electricity consumption by voivodship



W badanym okresie (2010-2020) w województwie podlaskim całkowity potencjał biomasy stałej wykorzystany do produkcji energii elektrycznej w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć średnio od 97,3% do 107,2% zużycia energii elektrycznej. Na drugim miejscu uplasowało się województwo warmińsko-mazurskie, gdzie średnie pokrycie zużycia energii elektrycznej osiągnęło poziom 56,6%-61,5%. W województwie podkarpackim średnie pokrycie zużycia energii elektrycznej wyniosło od 18,6% do 19,9%, w zależności od rozpatrywanej wilgotności biomasy stałej.

Mapa 5. Potencjał biomasy stałej względem zużycia energii elektrycznej wraz z procentowym udziałem poszczególnych źródeł

Map 5. Solid biomass potential in relation to electricity consumption with the percentage share of each source



Przestrzenne zróżnicowanie potencjału biomasy stałej wraz z uwzględnieniem jego znaczenia w pokryciu zużycia energii elektrycznej zostało przedstawione na mapie 5. Województwa dysponujące największym potencjałem znajdują się głównie w północno-zachodniej i północno-wschodniej części kraju.

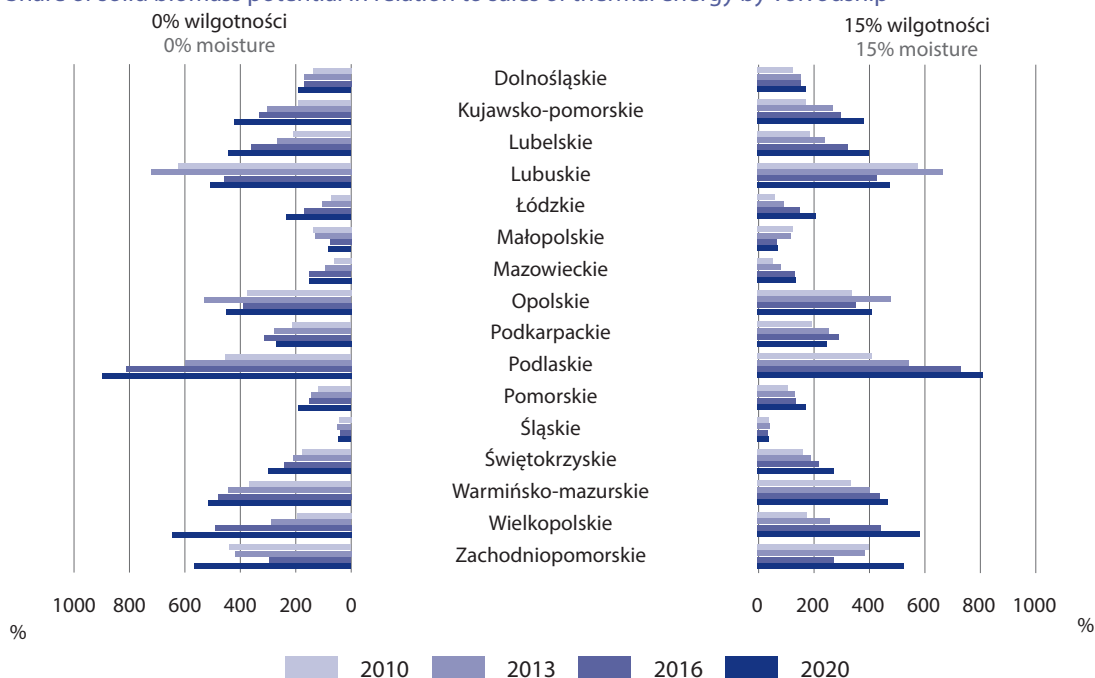
Tablica 4. Pokrycie zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii przez biomasę stałą według województw w latach 2010-2020

Table 4. Coverage of demand for individual energy carriers by solid biomass by voivodship in 2010-2020

Wyszczególnienie Specification	Średnie pokrycie zapotrzebowania Average coverage of demand			
	0% wilgotności 0% moisture		15% wilgotności 15% moisture	
	zużycia energii elektrycznej w % electricity consumption in %	sprzedaży energii cieplnej w % thermal energy sales in %	zużycia energii elektrycznej w % electricity consumption in %	sprzedaży energii cieplnej w % thermal energy sales in %
Dolnośląskie	12,91	172,61	11,92	159,37
Kujawsko-pomorskie	27,58	302,40	25,09	275,05
Lubelskie	33,63	316,05	30,65	287,98
Lubuskie	36,47	511,93	34,27	481,26
Łódzkie	14,11	147,97	12,83	134,49
Małopolskie	7,00	89,46	6,46	82,52
Mazowieckie	14,11	129,06	12,82	117,26
Opolskie	22,10	400,94	20,18	366,11
Podkarpackie	19,91	247,13	18,59	230,82
Podlaskie	107,16	683,42	97,26	620,21
Pomorskie	18,19	152,85	16,88	141,79
Śląskie	3,50	40,05	3,23	36,94
Świętokrzyskie	13,10	237,96	12,15	220,68
Warmińsko-mazurskie	61,49	438,90	56,56	403,80
Wielkopolskie	31,71	425,71	28,91	388,03
Zachodniopomorskie	34,82	339,75	32,41	316,36

W tablicy 4 przedstawiono procentowy udział potencjału biomasy stałej w pokryciu zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii dla dwóch rozpatrywanych wilgotności biomasy stałej.

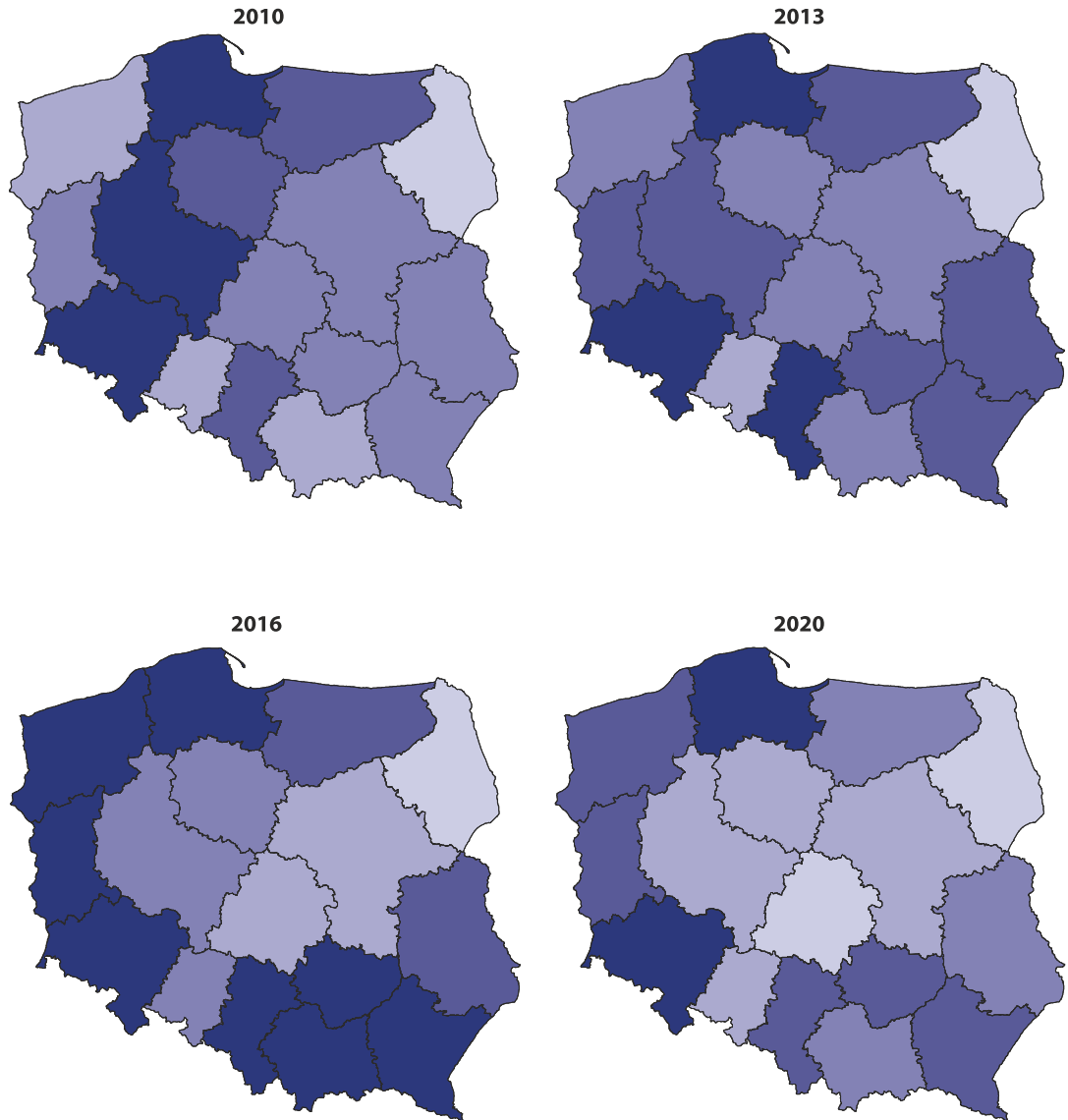
Wykres 48. Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży energii cieplnej według województw
Chart 48. Share of solid biomass potential in relation to sales of thermal energy by voivodship



W województwie podlaskim potencjał biomasy stałej wykorzystany do produkcji energii cieplnej w urządzeniach kogeneracyjnych byłby w stanie pokryć średnio od 620,2% do 683,4% sprzedaży energii cieplnej. Biomasa stała odegrałaby także bardzo ważną rolę w pokryciu sprzedaży ciepła dla województwa lubelskiego (od 481,3% do 511,9%). Natomiast województwo podkarpackie byłoby w stanie pokryć od 230,8% do 247,1% sprzedaży ciepła.

Mapa 6. Udział zużycia drewna na opał względem potencjału biomasy stałej

Map 6. Share of firewood consumption in relation to solid biomass potential



Biomasa stała/drewno na opał w %

Solid biomass/firewood in %

5,1 – 7,1

4,1 – 5,0

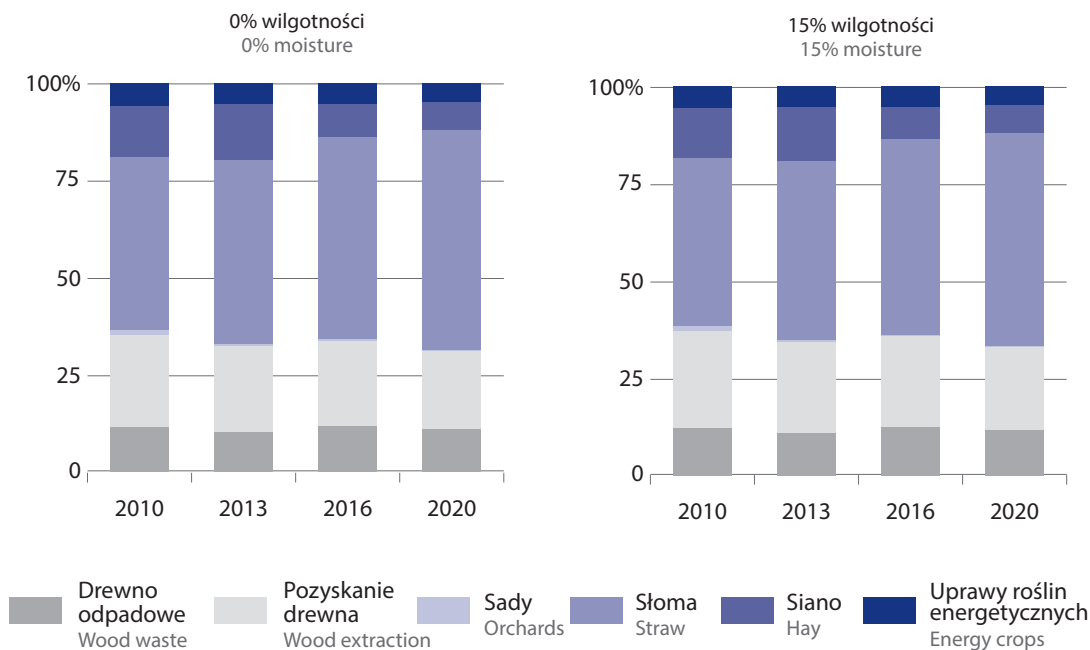
3,1 – 4,0

2,1 – 3,0

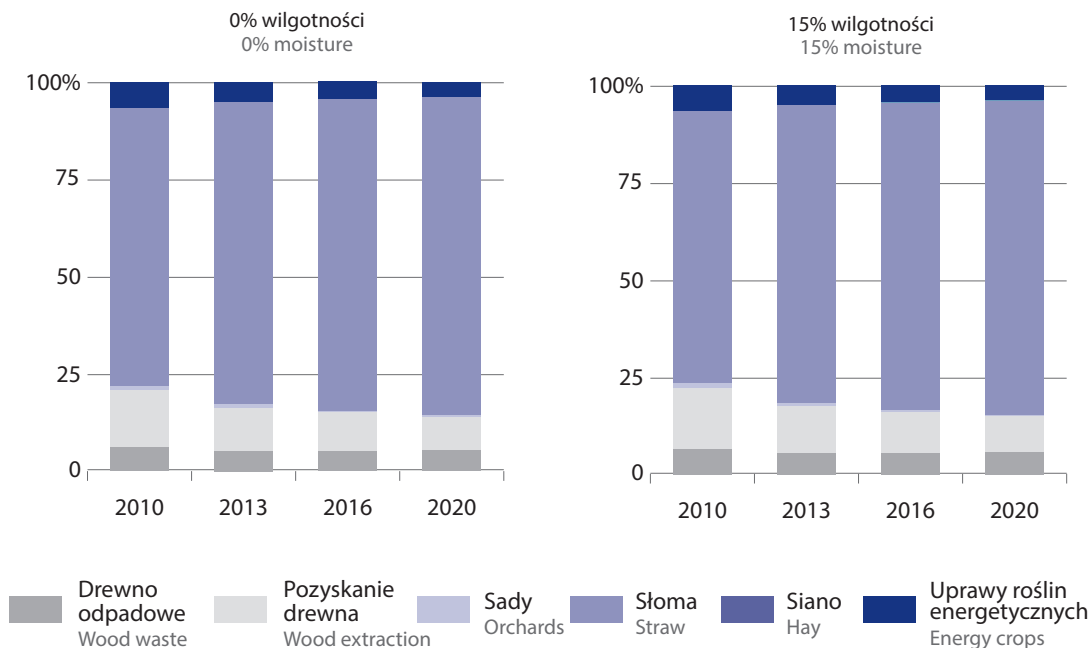
1,3 – 2,0

W badanym okresie (2010-2020) potencjał biomasy stałej był najintensywniej wykorzystywany głównie w północnych, zachodnich oraz południowych województwach.

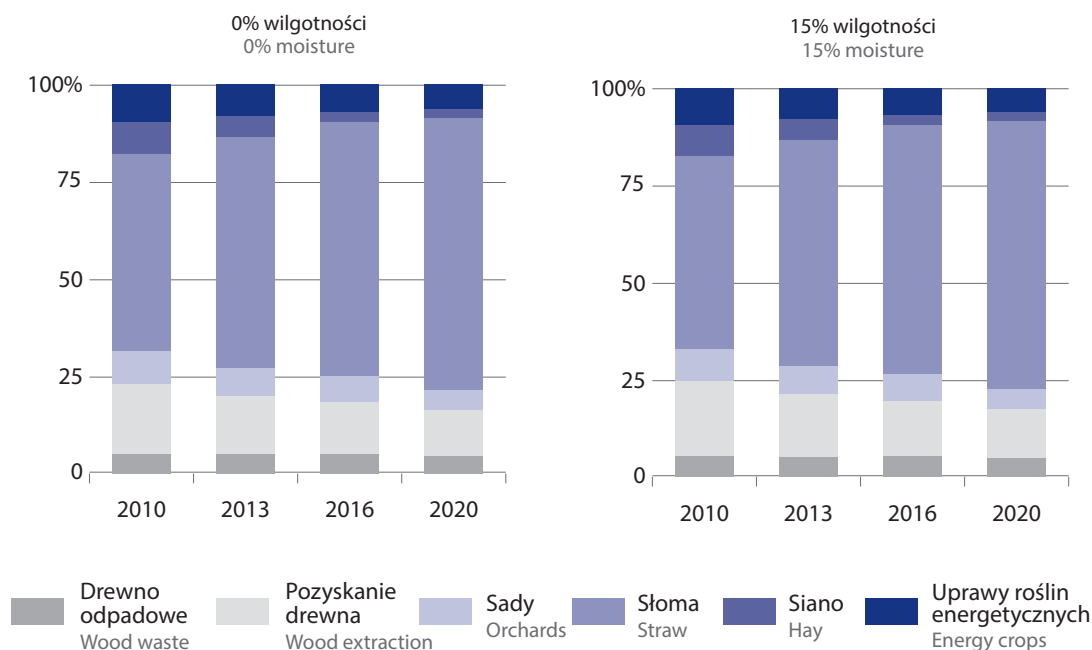
Wykres 49. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa dolnośląskiego
Chart 49. Structure of solid biomass potential for Dolnośląskie Voivodship



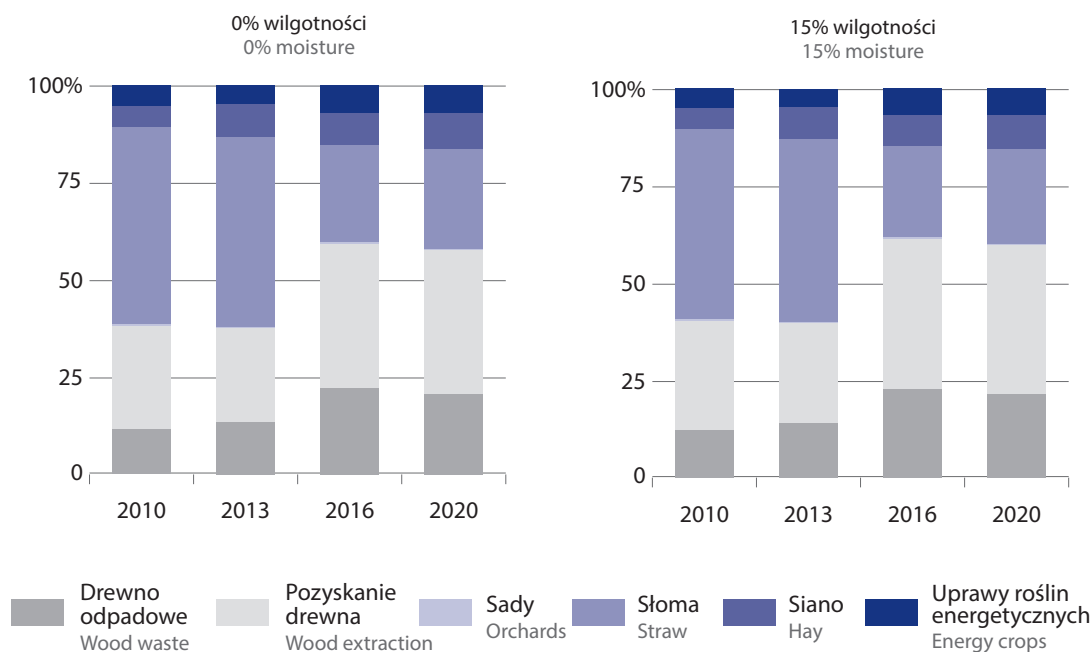
Wykres 50. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa kujawsko-pomorskiego
Chart 50. Structure of solid biomass potential for Kujawsko-Pomorskie Voivodship



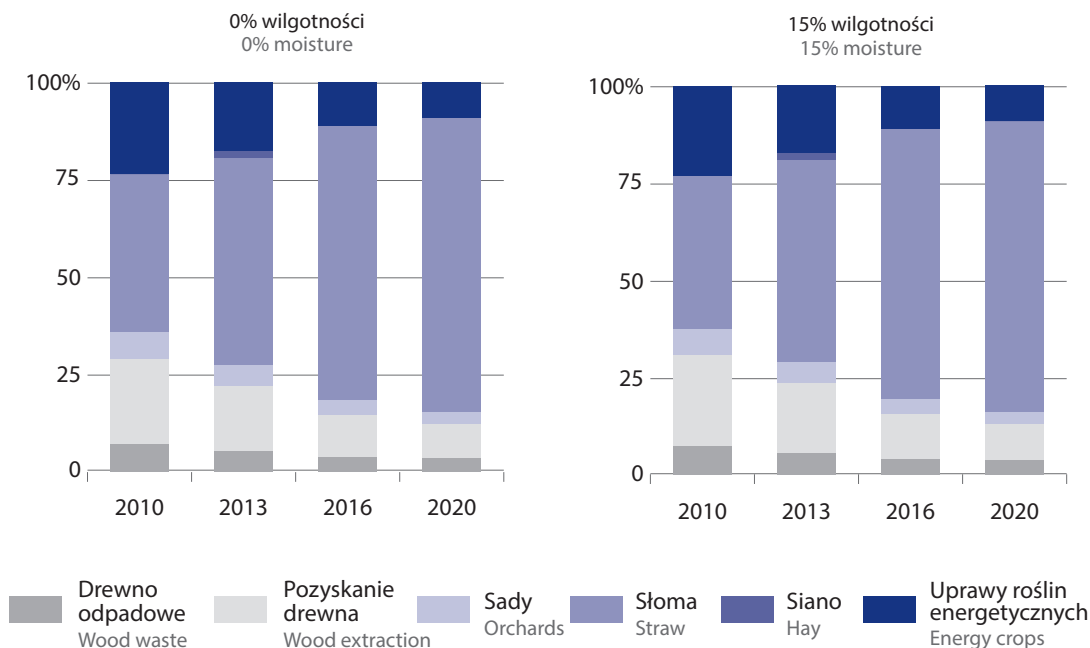
Wykres 51. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa lubelskiego
Chart 51. Structure of solid biomass potential for Lubelskie Voivodship



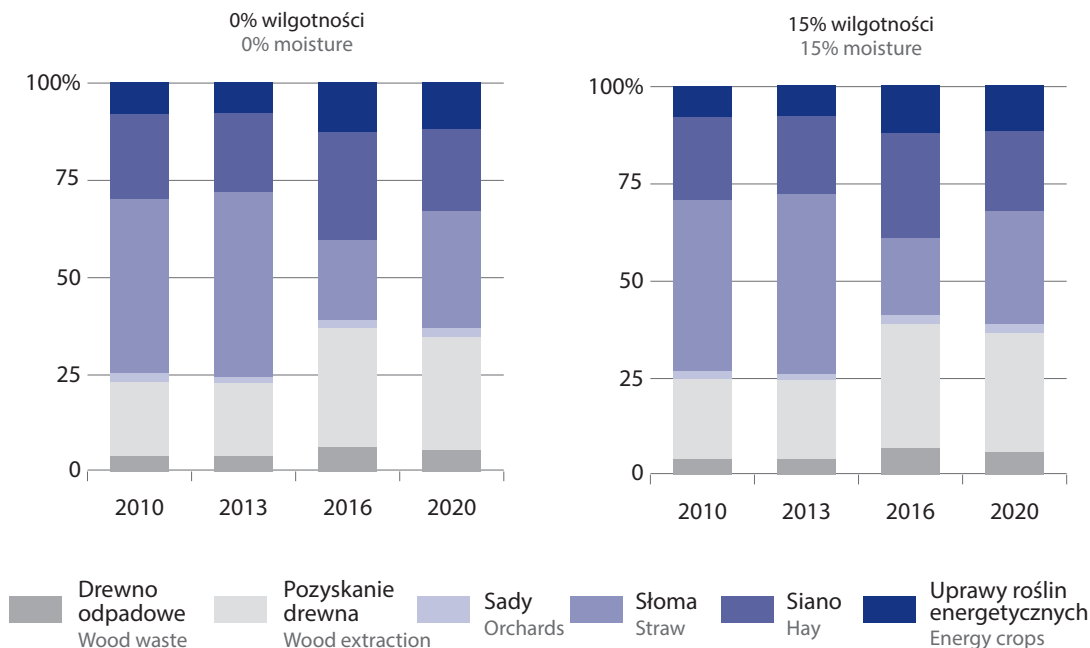
Wykres 52. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa lubuskiego
Chart 52. Structure of solid biomass potential for Lubuskie Voivodship



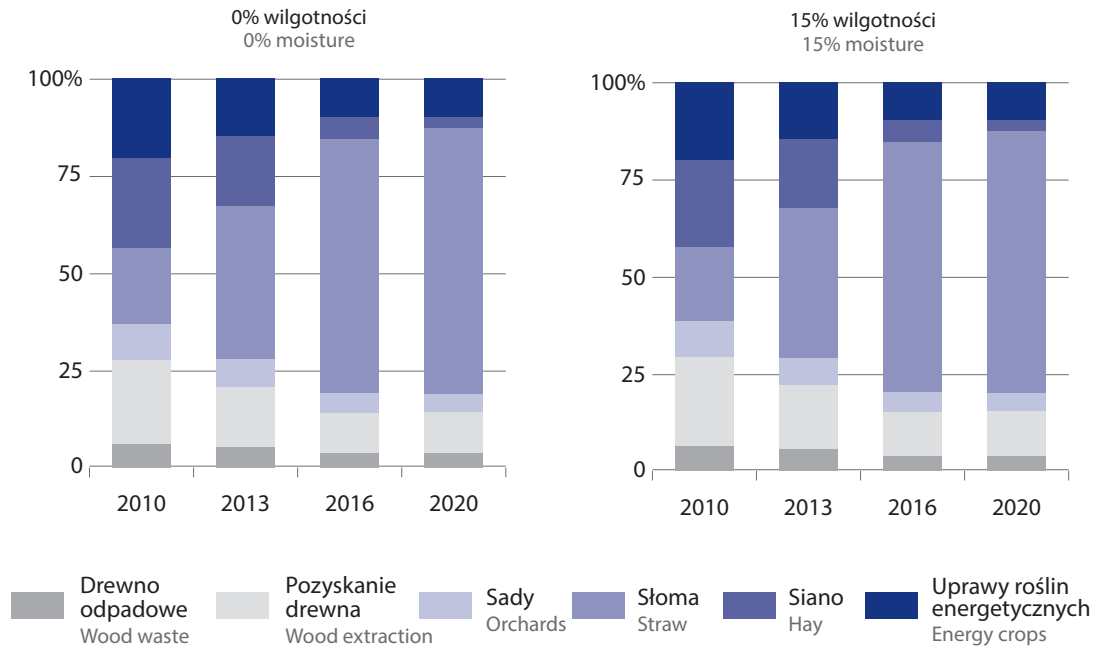
Wykres 53. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa łódzkiego
 Chart 53. Structure of solid biomass potential for Łódzkie Voivodship



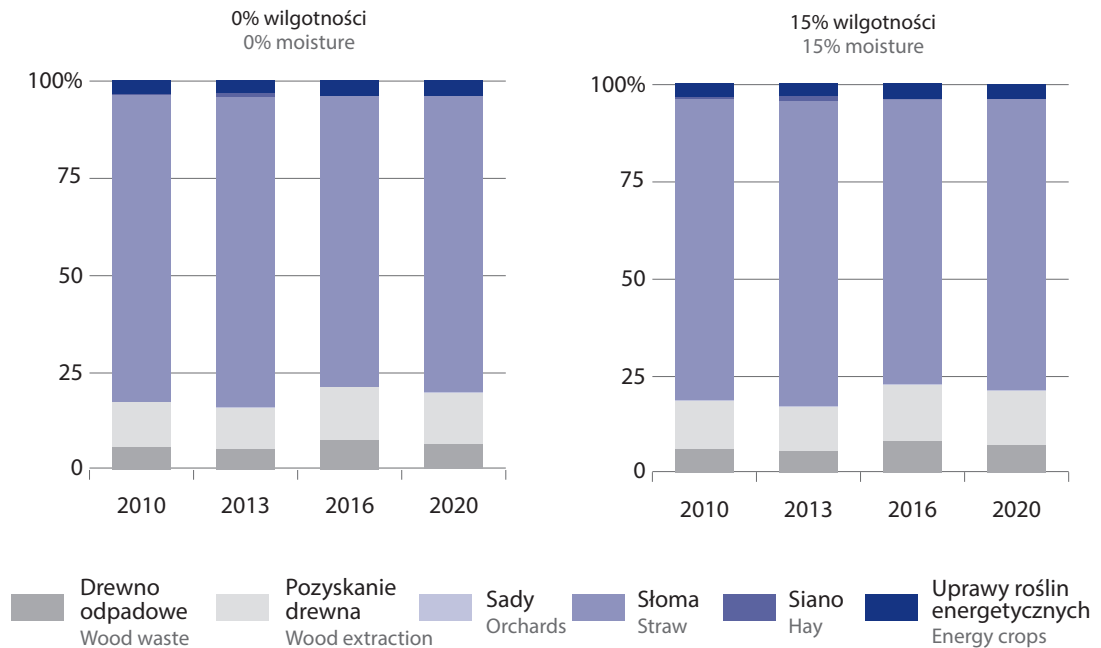
Wykres 54. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa małopolskiego
 Chart 54. Structure of solid biomass potential for Małopolskie Voivodship



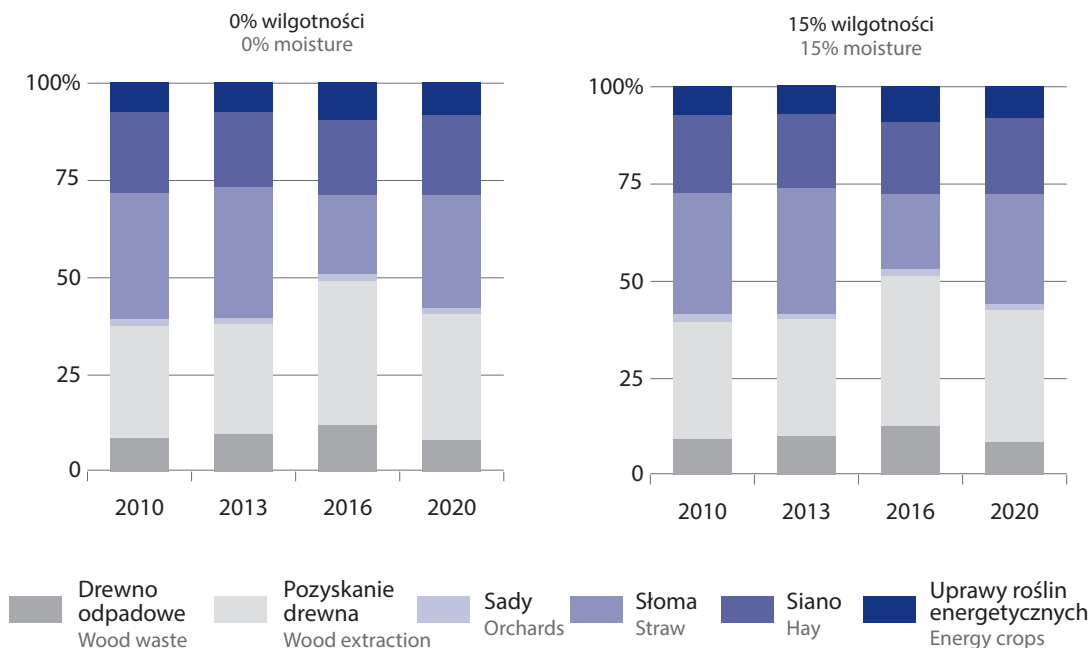
Wykres 55. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa mazowieckiego
 Chart 55. Structure of solid biomass potential for Mazowieckie Voivodship



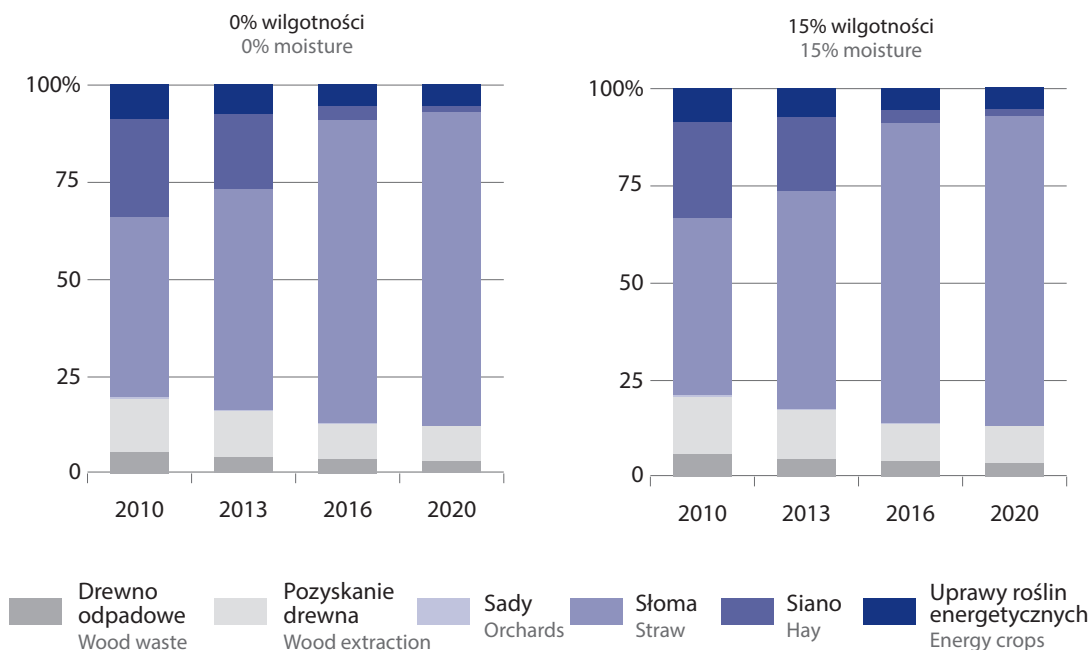
Wykres 56. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa opolskiego
 Chart 56. Structure of solid biomass potential for Opolskie Voivodship



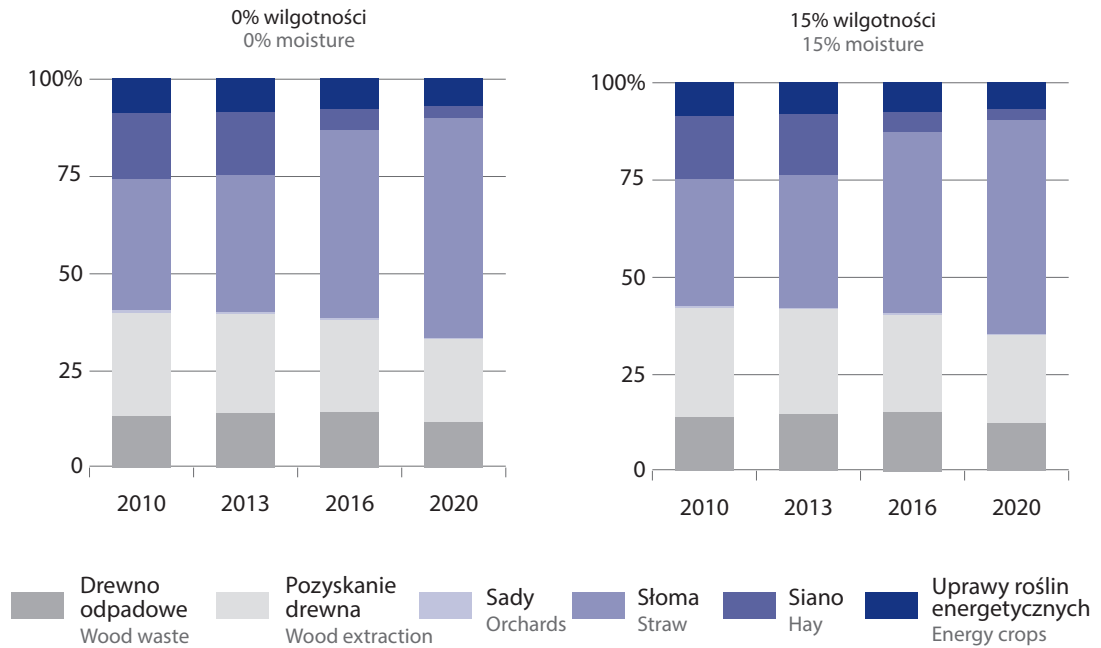
Wykres 57. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa podkarpackiego
 Chart 57. Structure of solid biomass potential for Podkarpackie Voivodship



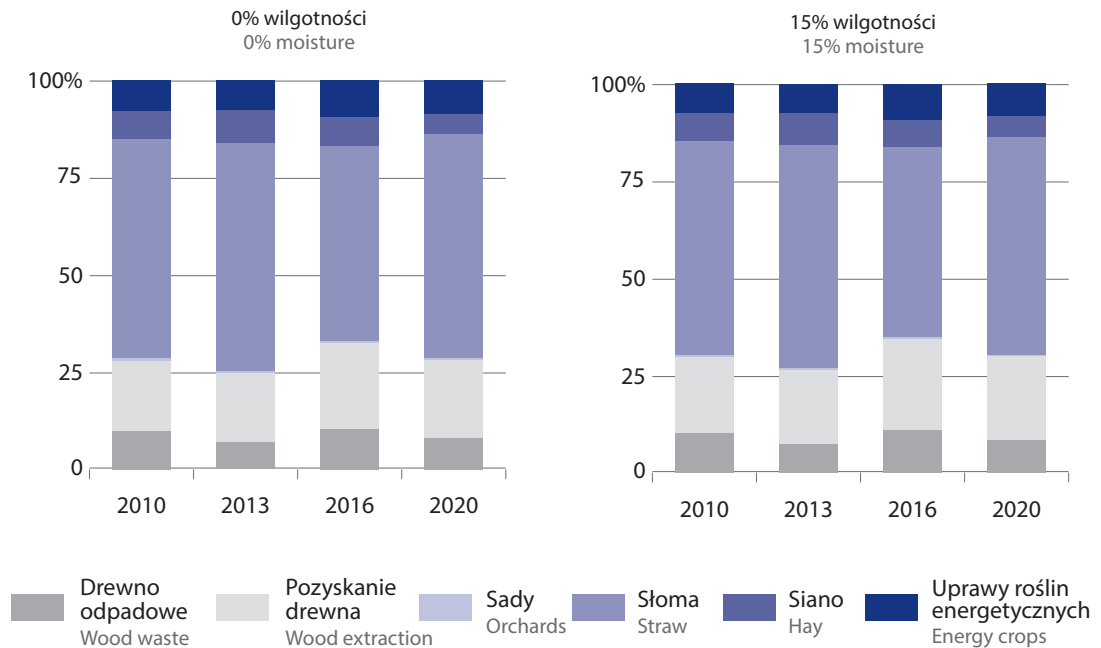
Wykres 58. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa podlaskiego
 Chart 58. Structure of solid biomass potential for Podlaskie Voivodship



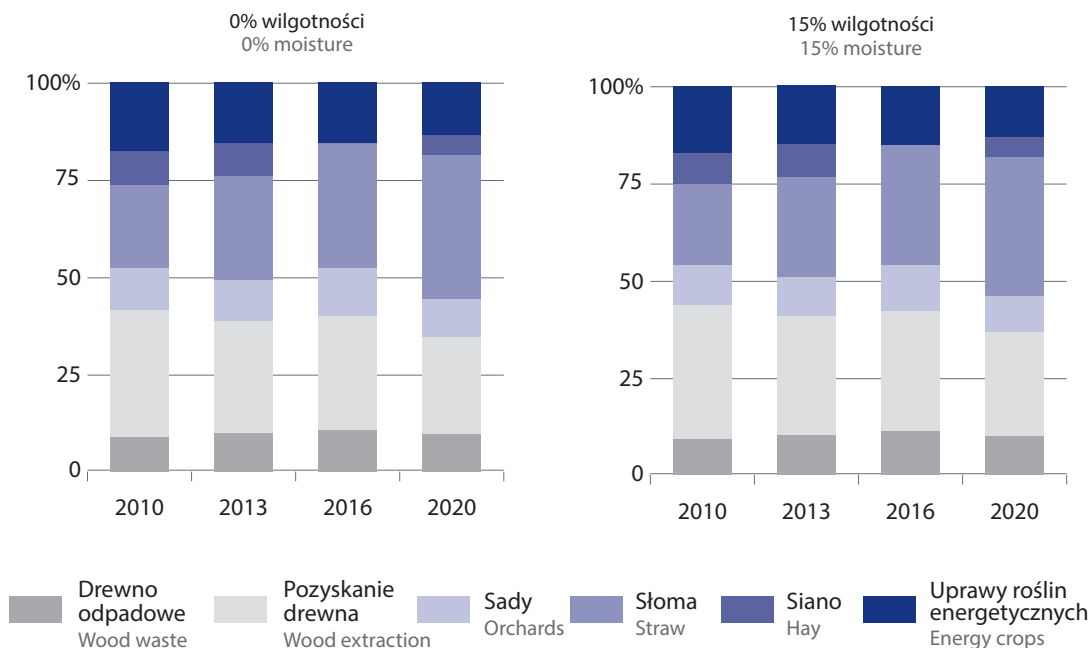
Wykres 59. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa pomorskiego
 Chart 59. Structure of solid biomass potential for Pomorskie Voivodship



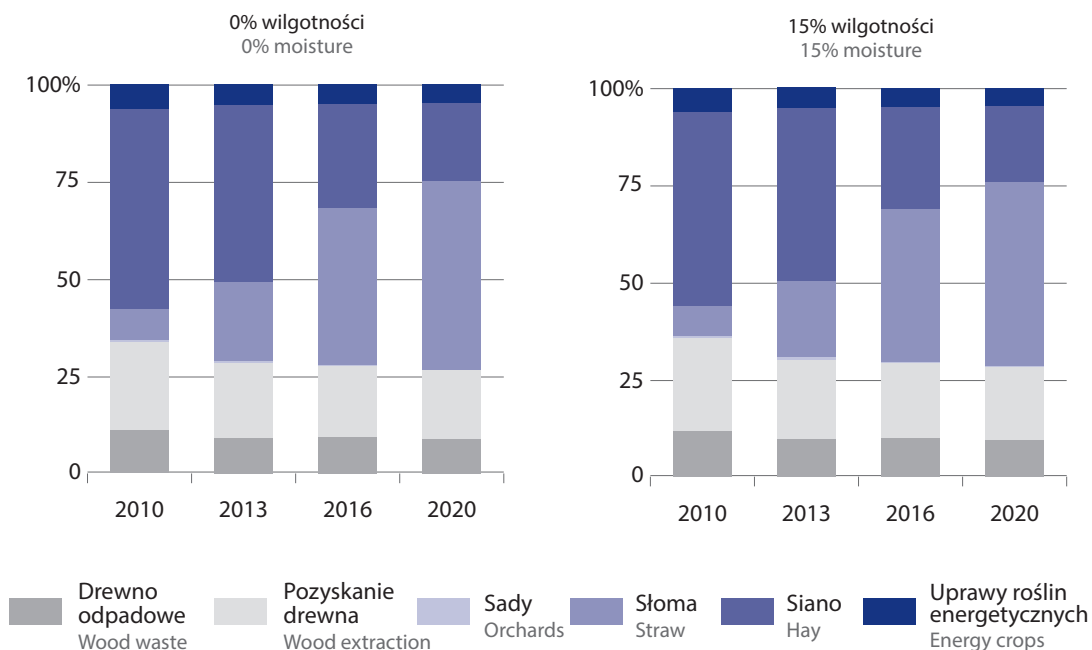
Wykres 60. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa śląskiego
 Chart 60. Structure of solid biomass potential for Śląskie Voivodship



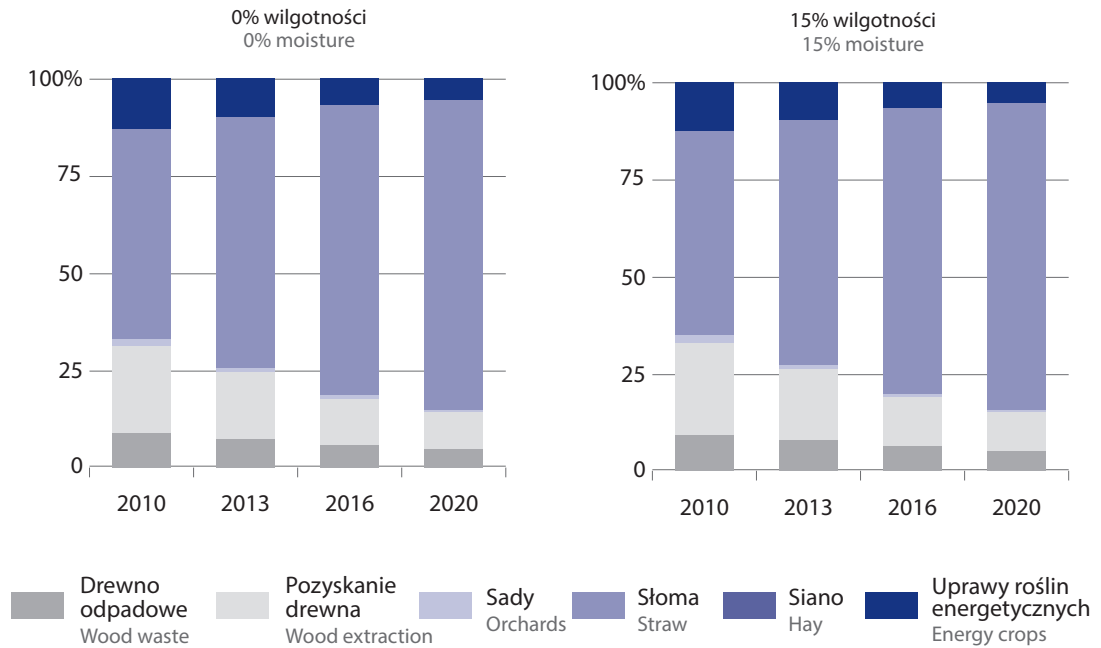
Wykres 61. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa świętokrzyskiego
 Chart 61. Structure of solid biomass potential for Świętokrzyskie Voivodship



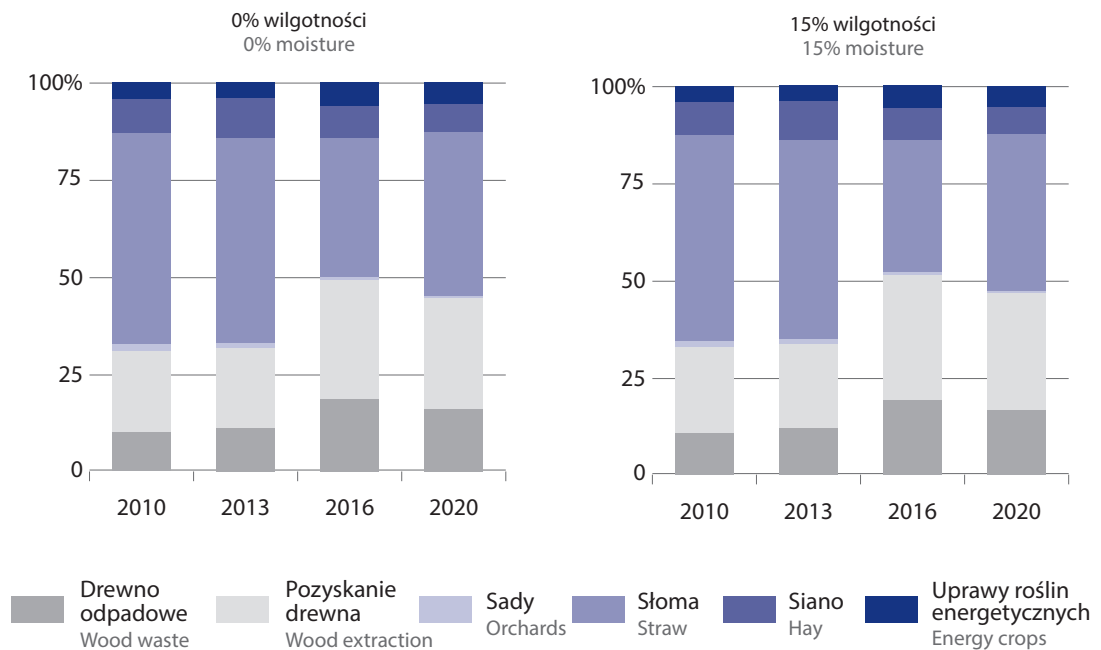
Wykres 62. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa warmińsko-mazurskiego
 Chart 62. Structure of solid biomass potential for Warmińsko-Mazurskie Voivodship



Wykres 63. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa wielkopolskiego
 Chart 63. Structure of solid biomass potential for Wielkopolskie Voivodship



Wykres 64. Struktura potencjału biomasy stałej dla województwa zachodniopomorskiego
 Chart 64. Structure of solid biomass potential for Zachodniopomorskie Voivodship



W związku z tym, iż potencjał biomasy stałej jest budowany zarówno przez źródła pochodzenia rolniczego, jak i gospodarkę leśną, województwa można podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę tworzą województwa, w przypadku których biomasa stała pochodzenia rolniczego (siano, słoma, sady, uprawy roślin energetycznych) budują ponad 50% potencjału w badanym okresie (2010-2020). Wspomniana grupa liczy 13 województw: dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubelskie, łódzkie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, podlaskie, pomorskie, śląskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie oraz wielkopolskie. Warto zauważyć, że w przypadku województw: kujawsko-pomorskiego, lubelskiego, opolskiego oraz wielkopolskiego udział słomy w budowaniu potencjału przekracza 50% w całym badanym okresie. Druga grupa składa się z województw, dla których udział biomasy stałej pochodzenia leśnego (drewno odpadowe, pozyskanie drewna) w niektórych latach badanego okresu (2010-2020) przekracza 50% potencjału biomasy stałej. W skład tej grupy wchodzi województwa: lubuskie, podkarpackie oraz zachodniopomorskie, a więc województwa, w których potencjał biomasy stałej mógłby pokryć od 19% do ponad 36% zużycia energii elektrycznej.

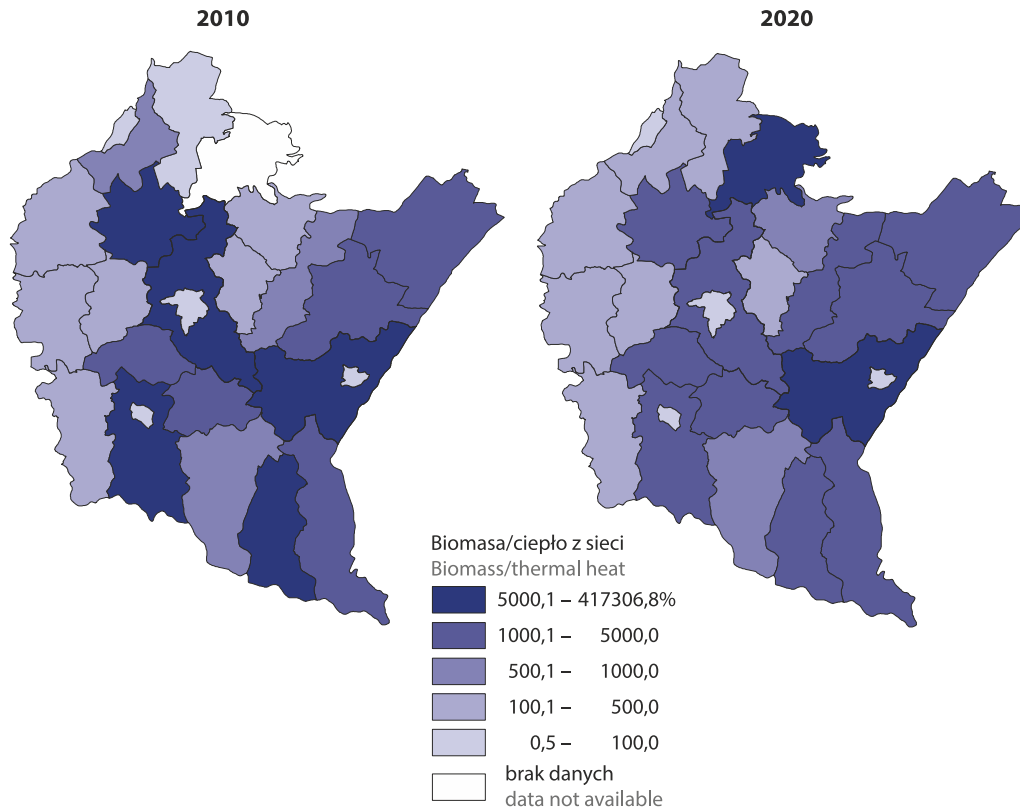
2.2.2. Potencjał produkcji biomasy stałej na poziomie powiatów dla województwa podkarpackiego

2.2.2. Solid biomass production potential at powiat level for Podkarpackie Voivodship

W przypadku powiatów grodzkich potencjał biomasy wykorzystany w całości do produkcji ciepła w urządzeniach kogeneracyjnych mógłby pokryć średnio od 4,3% do 4,6% sprzedaży energii cieplnej. Potencjał biomasy stałej odegrałby zdecydowanie ważniejszą rolę w przypadku powiatów ziemskich, gdzie średnio mógłby pokryć ponad 25-krotnie sprzedaż energii cieplnej w 2020 r. Trzeba jednak pamiętać, iż tak wysoka liczba wynika z niskiej sprzedaży ciepła na terenach wiejskich, wynoszącej średnio 0,15 GJ/osobę w 2020 r. (6,45 GJ/osobę w miastach) oraz ich dużego potencjału biomasy stałej względem obszarów miejskich

Mapa 7. Udział potencjału biomasy stałej względem sprzedaży energii cieplnej w powiatach województwa podkarpackiego

Map 7. Share of solid biomass potential in terms of sales of thermal energy in powiats of Podkarpackie Voivodship



Rozdział 3

Chapter 3

Znaczenie biomasy w pokryciu zapotrzebowania na energię

The importance of biomass in covering the demand for energy

3.1. Zróżnicowanie regionalne potencjału biomasy stałej i biogazu w Polsce

3.1. Regional differentiation of solid biomass and biogas potential in Poland

W dalszej części badań dokonano zestawienia potencjału biogazu oraz biomasy stałej, a także określono ich łączny potencjał w produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Otrzymane dane porównano z danymi statystycznymi GUS dotyczącymi zużycia energii elektrycznej i sprzedaży energii ciepłej w latach 2010-2020 (Tablice 5 i 6). Przeprowadzone obliczenia wykazały, że uruchomienie potencjałów biogazu oraz biomasy stałej daje możliwości pokrycia średnio od 26,6% do 29,5% zużycia energii elektrycznej w badanym okresie (2010-2020). Spalanie biogazu w urządzeniach kogeneracyjnych pokryłoby średnio od 8,9% do 17,7% zapotrzebowania, natomiast wykorzystanie tylko i wyłącznie biomasy stałej mogłoby zaspokoić średnio od 10,2% do 19,3% zużycia energii elektrycznej w skali kraju.

Tablica 5. Całkowity potencjał biogazu i biomasy stałej w stosunku do zużycia energii elektrycznej według województw

Table 5. Total biogas and solid biomass potential in relation to electricity consumption by voivodship

Wyszczególnienie Specification	Całkowity potencjał biomasy/zużycie energii elektrycznej w % Total biomass potential/electricity consumption in %									
	dolna wydajność produkcji biogazu oraz biomasa stała o wilgotności 0% lower biogas production capacity and solid biomas of moisture content of 0%					dolna wydajność produkcji biogazu oraz bio- masa stała o wilgotności 15% lower biogas production capacity and solid biomas of moisture content of 15%				
	2010	2013	2016	2020	średnia ave- rage (2010- 2020)	2010	2013	2016	2020	średnia aver- age (2010- 2020)
Polska	28,93	30,08	30,33	32,19	29,53	26,08	27,12	27,34	29,02	26,63
Dolnośląskie	19,74	19,11	18,98	19,51	18,86	17,80	17,23	17,12	17,59	17,00
Kujawsko-pomorskie	38,04	43,43	43,77	47,85	42,03	34,30	39,17	39,47	43,14	37,90
Lubelskie	45,94	48,02	49,31	53,40	48,04	41,42	43,30	44,46	48,15	43,32
Lubuskie	62,38	66,11	41,36	40,16	47,32	56,25	59,62	37,29	36,21	42,67
Łódzkie	18,17	19,53	24,68	30,29	23,35	16,38	17,61	22,25	27,32	21,05
Małopolskie	17,49	16,38	12,73	13,01	13,40	15,77	14,77	11,48	11,73	12,08
Mazowieckie	20,19	21,53	25,44	22,98	23,96	18,21	19,41	22,94	20,72	21,60
Opolskie	36,41	38,43	30,64	29,03	30,48	32,83	34,65	27,63	26,18	27,48
Podkarpackie	34,71	32,56	26,45	28,29	28,09	31,30	29,36	23,85	25,51	25,33
Podlaskie	145,40	155,35	177,28	165,55	157,74	131,11	140,08	159,85	149,28	142,24
Pomorskie	26,87	26,89	26,94	27,54	27,37	24,23	24,25	24,29	24,83	24,68
Śląskie	8,25	7,84	6,79	7,34	6,86	7,44	7,07	6,13	6,62	6,19
Świętokrzyskie	21,18	21,92	20,52	24,92	21,43	19,10	19,76	18,50	22,47	19,32
Warmińsko-mazurskie	82,70	90,92	87,52	97,56	86,38	74,57	81,98	78,91	87,97	77,89
Wielkopolskie	41,13	46,10	54,60	65,63	51,75	37,08	41,57	49,23	59,18	46,66
Zachodniopomorskie	61,48	57,51	40,12	44,38	45,25	55,44	51,86	36,18	40,02	40,81

Analizując dane zawarte w tablicy 5 widać, iż potencjał biogazu oraz biomasy stałej wykorzystany do produkcji energii elektrycznej byłby w stanie pokryć całkowite zużycie tego nośnika energii w województwie podlaskim. Warto podkreślić, iż w badanym okresie (2010-2020) województwo podlaskie dys-

ponowałyby także sporym nadmiarem energii elektrycznej wyprodukowanej w urządzeniach kogeneracyjnych (142,2%~157,7%). Na drugim miejscu uplasowało się województwo warmińsko-mazurskie, gdzie udział potencjału biogazu i biomasy stałej w stosunku do zużycia energii elektrycznej utrzymywał się na poziomie od 77,8% do 86,3%. Potencjał biomasy odgrywa także ważną rolę w przypadku województw: lubelskiego (43,3%~48%), lubuskiego (42,7%~47,3%), wielkopolskiego (46,6%~51,7%) oraz zachodniopomorskiego (40,8%~45,2%). W przypadku województwa podkarpackiego potencjał biomasy stałej i biogazu mógłby w badanym okresie pokryć od 25,3% do 28,1% zużycia energii elektrycznej.

Bardziej korzystnie wygląda sytuacja w przypadku porównania potencjału biogazu oraz biomasy stałej w stosunku do sprzedaży energii cieplnej. Przeprowadzone obliczenia wykazują, iż uruchomienie potencjału biomasy stwarza możliwości pokrycia od 221,5% do 243,2% sprzedaży energii cieplnej w badanym okresie (2010-2020). Spalanie biogazu w urządzeniach kogeneracyjnych pokryłoby od 30,2% do 34,6% sprzedaży energii cieplnej, natomiast wykorzystanie tylko i wyłącznie biomasy stałej mogłoby pokryć od 191,3% do 208,6% sprzedaży energii cieplnej w skali kraju.

Tablica 6. Całkowity potencjał biogazu i biomasy stałej w stosunku do sprzedaży energii cieplnej według województw

Table 6. Total biogas and solid biomass potential in relation to the sales of heat by voivodship

Wyszczególnienie Specification	Całkowity potencjał biomasy/sprzedaży energii cieplnej w % Total biomass potential/sales of thermal energy in %									
	dolna wydajność produkcji biogazu oraz biomasa stała o wilgotności 0% lower biogas production capacity and solid biomass of moisture content of 0%					dolna wydajność produkcji biogazu oraz biomasa stała o wilgotności 15% lower biogas production capacity and solid biomass of moisture content of 15%				
	2010	2013	2016	2020	średnia average (2010-2020)	2010	2013	2016	2020	średnia average (2010-2020)
Polska	188,07	231,27	259,78	303,93	243,24	171,47	210,78	236,45	275,99	221,53
Dolnośląskie	160,83	192,40	196,01	214,95	198,67	146,13	174,85	178,13	195,21	180,54
Kujawsko-pomorskie	231,45	347,78	379,44	477,30	350,65	210,94	316,11	344,00	432,01	318,50
Lubelskie	244,19	301,15	402,51	489,06	356,66	222,62	274,39	366,09	443,52	324,39
Lubuskie	664,78	766,98	500,68	557,66	557,86	610,71	705,56	467,14	519,40	518,47
Łódzkie	96,40	130,62	197,14	270,40	177,99	87,35	118,77	178,31	244,20	161,10
Małopolskie	169,61	156,04	103,53	107,85	116,62	152,22	140,36	93,23	97,00	104,91
Mazowieckie	85,46	118,49	178,73	182,89	157,03	77,84	107,63	161,40	164,79	141,98
Opolskie	416,80	575,41	436,04	505,29	449,48	376,86	520,31	395,93	457,29	407,70
Podkarpackie	235,74	305,48	355,84	300,76	279,19	216,07	280,38	328,15	275,72	257,12
Podlaskie	531,94	685,94	903,53	1004,66	775,10	489,90	628,95	824,22	915,54	709,06
Pomorskie	139,79	167,77	175,26	216,26	176,75	128,06	153,97	160,71	197,79	162,16
Śląskie	57,11	61,36	52,08	59,90	53,31	50,88	54,70	46,54	53,47	47,53
Świętokrzyskie	219,08	247,34	287,39	353,16	284,79	200,94	227,35	264,11	322,16	261,17
Warmińsko-mazurskie	415,28	493,26	532,68	571,17	491,33	382,70	452,94	488,31	523,54	451,46
Wielkopolskie	256,79	354,58	578,19	745,83	508,94	233,89	322,93	523,74	673,83	461,30
Zachodniopomorskie	468,77	446,00	324,13	622,73	371,74	428,38	408,04	299,70	572,65	342,09

W okresie 2010-2020 jedynie w przypadku województwa śląskiego potencjał biogazu oraz biomasy stałej pokryłby sprzedaż energii cieplnej w każdym z badanych lat (średnio od 47,5% do 53,3%). W przypadku województwa łódzkiego oraz mazowieckiego najniższe wartości potencjału wystąpiły w 2010 r. Natomiast w przypadku województwa małopolskiego najmniejsze wartości potencjału wystąpiły w 2016 r. W województwie podkarpackim potencjał biomasy stałej i biogazu mógłby pokryć średnio od 257,1% do 276,2% sprzedaży energii cieplnej w badanym okresie.

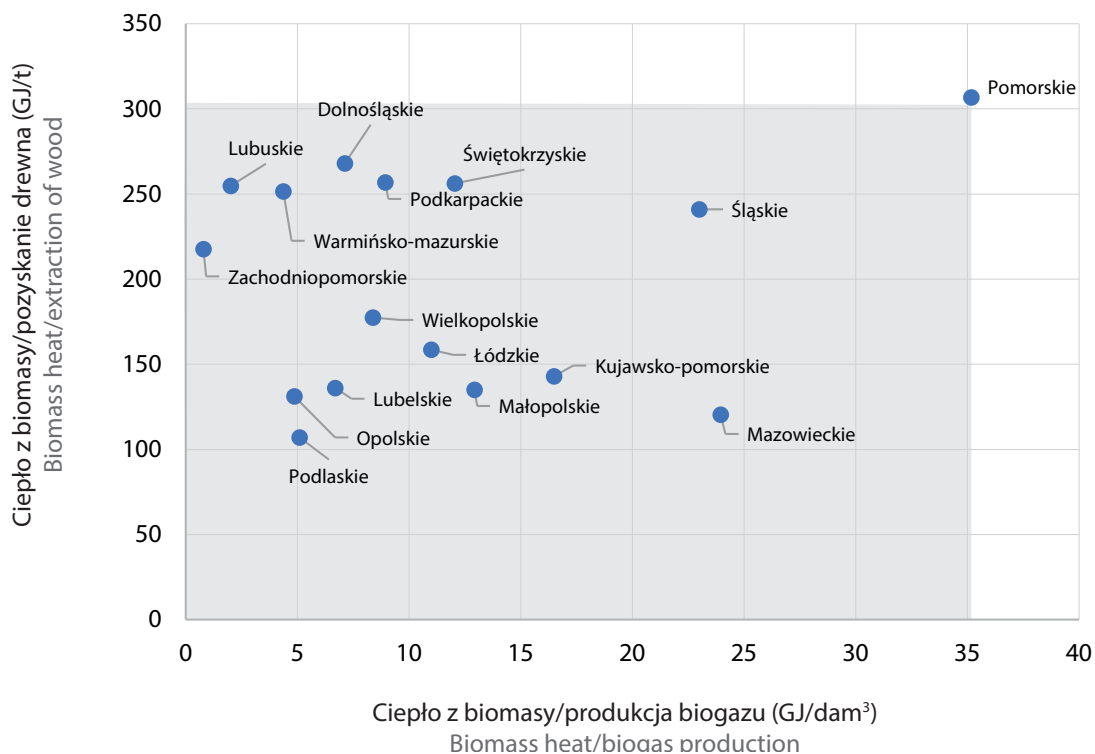
3.2. Przestrzenne zróżnicowanie efektywności wykorzystania biogazu i biomasy

3.2. Spatial differentiation of biogas and biomass exploitation efficiency

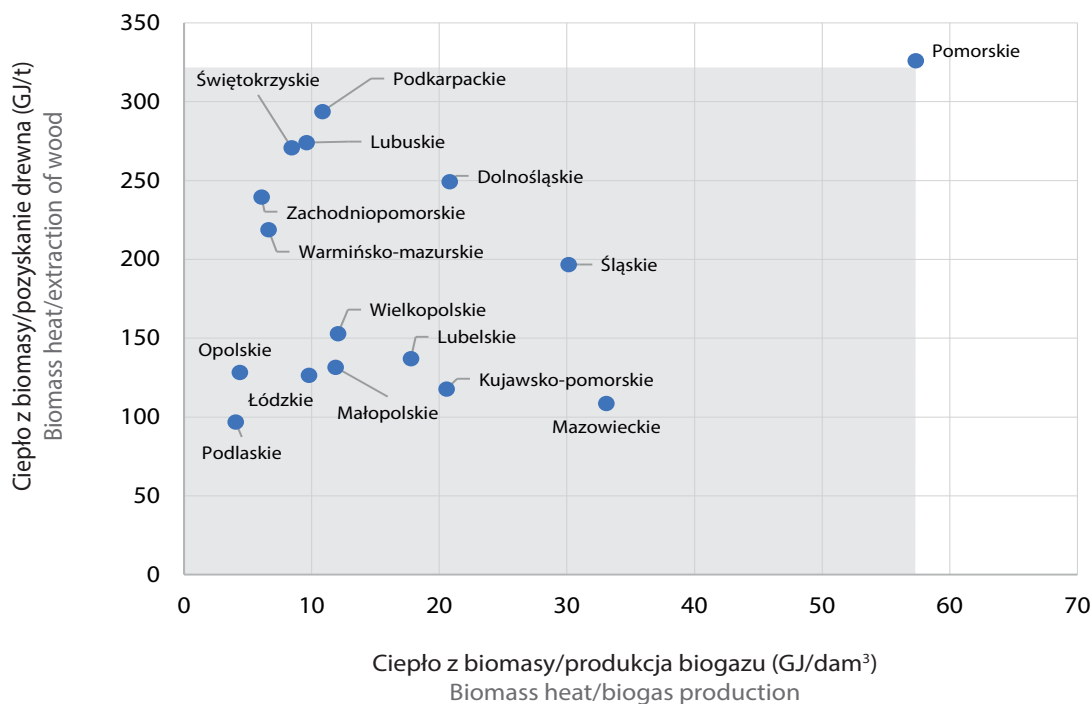
Naturalnie nasuwa się pytanie o wskazanie województw najefektywniejszych pod względem wykorzystania biokomponentów do produkcji ciepła. Wykorzystując metodę DEA (Data Envelopment Analysis) przeprowadzono analizę efektywności względnej województw w latach: 2010, 2013, 2016 i 2020. Wyniki te przedstawiają wykresy: 65, 66, 67 i 68. W DEA jednostki najbardziej efektywne wyznaczają tzw. granicę efektywności. Jednostki nieefektywne leżą we wnętrzu Production Possibility Set. Dla każdego badanego roku granica efektywności, jak i Production Possibility Set będzie inna, więc spadek względnej efektywności województwa w kolejnych latach nie oznacza, że sytuacja w województwie pogorszyła się. Granicę efektywności wyznaczoną przez DEA w przypadku modelu CCR, w którym łączna liczba zmiennych (nakładów i efektów) nie przekracza łącznie trzech, można łatwo zwizualizować. W tym celu obliczono dwa wskaźniki: stosunek łącznego potencjału ciepła z biomasy stałej i biogazu do produkcji biogazu oraz stosunek łącznego potencjału ciepła z biomasy stałej i biogazu do pozyskania drewna. Wyniki zamieszczono na wykresach 65-68, zachowując ten sam zakres skali na obu osiach. W ten sposób można zauważyć bezwzględne zmiany w porównywanych latach. Szary wielokąt to Production Possibility Set i jest wyznaczony jako otoczka wypukła jednostek efektywnych, ich rzutów na osie oraz punkt początku układu współrzędnych. Production Possibility Set jest wyznaczony osobno dla każdego z lat według jednostek efektywnych z danego roku. Analiza DEA wykazała, że w 2010 r. najbardziej efektywne było województwo pomorskie. W ciągu dziesięciu lat dołączyło do niego województwo lubuskie, natomiast województwa: śląskie, podkarpackie, dolnośląskie, mazowieckie oraz zachodniopomorskie zbliżyły się do granicy efektywności. W okresie 2010-2020 zmniejszyły się dysproporcje w zakresie efektywności. W pięciu województwach zaobserwowano wzrost efektywności pod względem wykorzystania biogazu, jak i biomasy stałej.

Wykres 65. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2010 r.

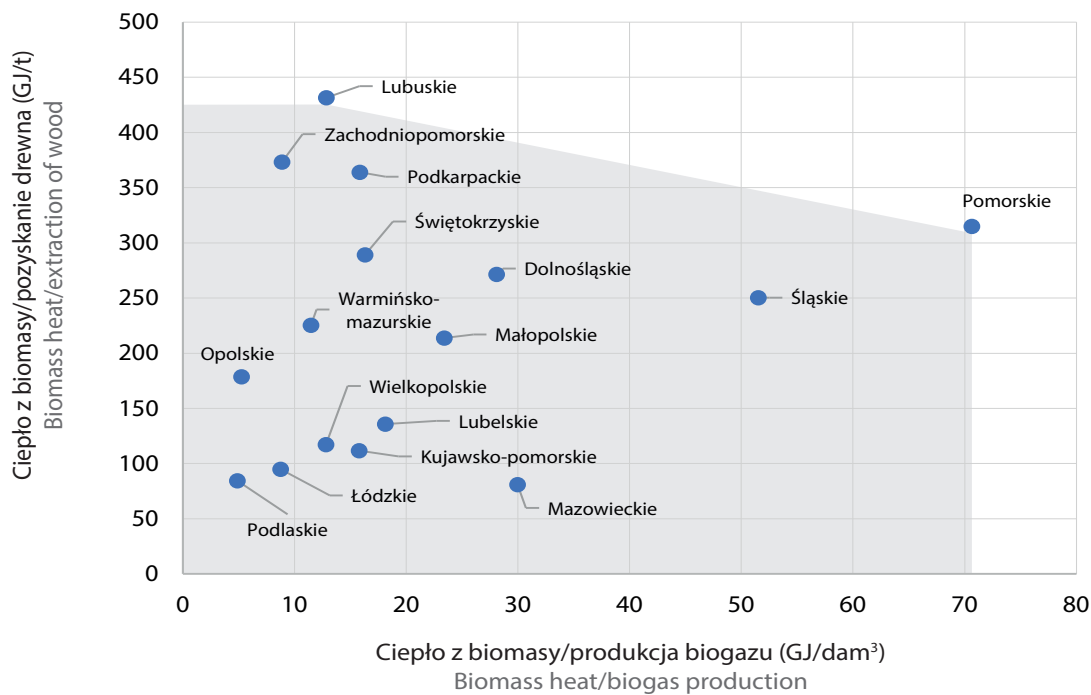
Chart 65. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2010



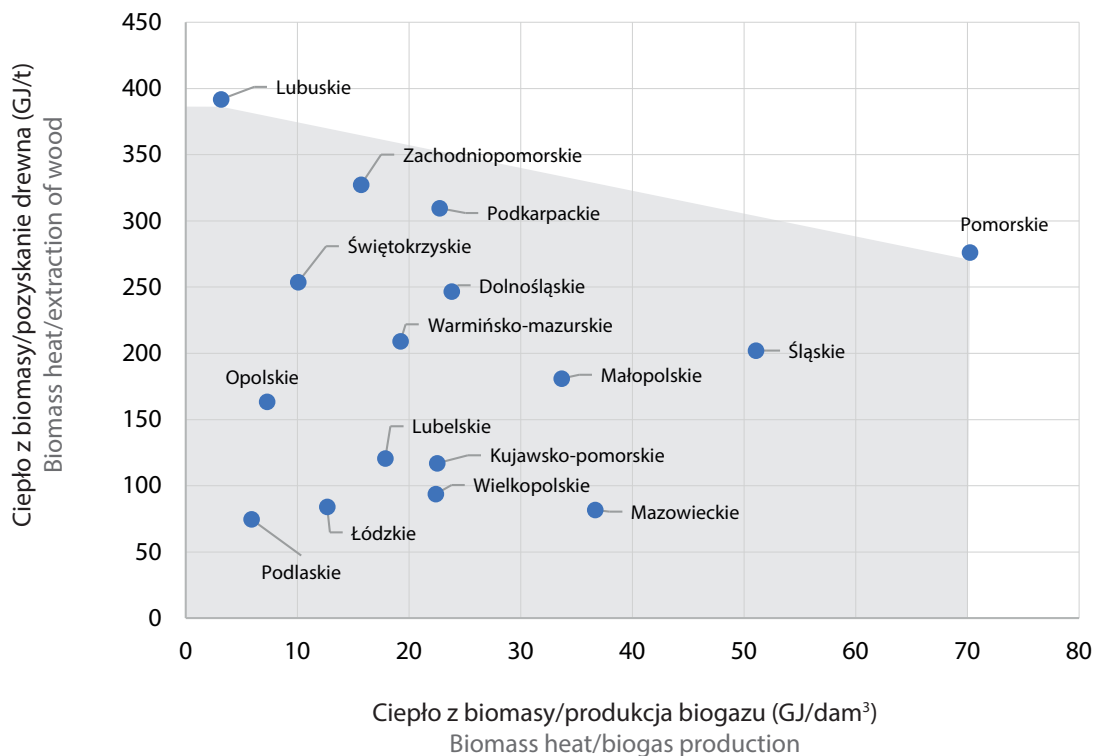
Wykres 66. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2013 r.
 Chart 66. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2013



Wykres 67. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2016 r.
 Chart 67. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2016



Wykres 68. Efektywność produkcji ciepła z biogazu i biomasy w 2020 r.
 Chart 68. Efficiency of heat production from biogas and biomass in 2020



Porównując jednostki efektywne w latach 2010-2020, można zauważyć, że wyznaczone przez nie granice efektywności przesunęły się w górę o 199,6% ze względu na biogaz oraz o 127,7% ze względu na biomasę stałą. W analizowanym okresie zmiana granicy efektywności ze względu na biogaz została spowodowana głównie przez województwa: dolnośląskie, lubelskie, małopolskie, podkarpackie, śląskie, warmińsko-mazurskie wielkopolskie oraz zachodniopomorskie, dla których względny wzrost produkcji biogazu przekroczył 200%. Natomiast w przypadku biomasy stałej zaobserwowano względny wzrost jedynie w województwach: lubuskim, małopolskim, opolskim, podkarpackim oraz zachodniopomorskim.

Wnioski Conclusions

Obecnie na świecie wzrasta znaczenie potencjału odnawialnych źródeł energii oraz efektywności energetycznej, ponadto ze względu na duże zanieczyszczenie środowiska odnawialne źródła energii wydają się jednym z najbardziej wydajnych i skutecznych rozwiązań dla rozwoju czystej i zrównoważonej energetyki^{15,16,17,18}. Jest to ważne, szczególnie ze względu na niewłaściwe usuwanie pozostałości rolniczych (np. spalanie słomy), co prowadzi do marnotrawstwa potencjału energetycznego i zanieczyszczenia atmosfery¹⁹. Na dużą rolę obszarów wiejskich w zakresie potencjału energii odnawialnej zwraca uwagę Sutherland²⁰ wskazując, że sektor rolniczy odgrywa ważną rolę w procesie przechodzenia na energię odnawialną ze względu na swoje historyczne zaangażowanie w zarządzanie kluczowymi zasobami, zwłaszcza ziemią i biomasą. Szybki wzrost wykorzystania biomasy na cele energetyczne wywołuje jednak obawy wielu ekspertów na całym świecie, zwłaszcza w odniesieniu do potencjalnych zagrożeń zrównoważonego rozwoju i bezpieczeństwa żywnościowego²¹. Jest to związane z tym, że produkcja biomasy na cele energetyczne w rolnictwie może stanowić konkurencję dla produkcji żywności z powodu ograniczenia powierzchni upraw przeznaczonych na cele żywnościowe i pasze dla zwierząt gospodarskich^{22,23}. Wtedy, jak wskazuje Jasiulewicz²⁴, należy pod produkcję biomasy na paliwa stałe przeznaczać głównie gleby gorszej jakości, w tym odłogowane i ugorowane, a także gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi, zdegradowanymi, nieprzydatnymi do produkcji upraw konsumpcyjnych. Problem takiej konkurencji nie występuje w przypadku biogazu, ponieważ jest on głównie wytwarzany z produktów ubocznych gospodarki rolnej²⁵, a najczęściej używanymi substratami do produkcji biogazu jest obornik pochodzący od bydła, świń i ze ściółki drobiowej²⁶. Są to odpady organiczne nienadające się do spożycia bądź niewykorzystywane do innych celów²⁷. Wydaje się więc, że biogaz jest bardziej dopuszczalną opcją wytwarzania energii.

W obecnych czasach dąży się do zwiększenia zużycia energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych, w tym z biogazu i biomasy w stosunku do energii wytworzonej ze źródeł konwencjonalnych. Bez wątplenia biomasę i biogaz stanowią cenne źródło energii elektrycznej i cieplnej, ponadto są alternatywą dla metod konwencjonalnych, zanieczyszczających środowisko naturalne. Przeprowadzone badania wskazują, że Polska posiada znaczący potencjał biomasy i biogazu. Jest on jednak zróżnicowany regionalnie. W skali kraju liderem pod względem wykorzystania potencjału produkcji biogazu jest województwo pomorskie. Przeciwnieństwem jest województwo podlaskie, które zarówno w 2010 r., jak i w 2020 r. zajmowało ostatnie miejsce w kraju. Porównując lata 2010 i 2020, należy wskazać, iż w Polsce blisko 3-krotnie wzrosło wykorzystanie potencjału produkcji ciepła z biogazu, jak również z biomasy stałej, przy czym wzrost efektywności w przypadku biogazu był wyższy. Wynika to ze zmian strukturalnych nośników energii, jak i ze wzrostu efektywności technicznej produkcji ciepła. Analiza DEA wykazała, że najwyższą względną efektywność techniczną w 2010 r. osiągnęło tylko województwo pomorskie. W 2020 r. dołączyło do niego województwo lubuskie. Było to związane ze wzrostem biomasy pochodzącej z plonów, wzrostem wiedzy rolników i rozwijającym się przemysłem rolno-spożywczym wytwarzającym biomasę odpadową oraz wzrostem rynku zbytu dla przetworzonej biomasy (m.in. wzrost liczby biogazowni). Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują na bardzo duży potencjał zarówno biomasy stałej, jak i biogazu, który mógłby być wykorzystany w szerszym zakresie na poziomie lokalnym, przyczyniając się do ograniczenia wykorzystania paliw kopalnych.

15 Pöschl, M. i in., 2010.

16 Alluvione, F. i in., 2011.

17 Jalali Sepehr, M. i in., 2019.

18 Kaygusuz, K., 2010.

19 Wang, B. i in., 2019

20 Sutherland, L.-A. i in., 2015.

21 Farrell, M.J., 1957.

22 Ignaciuk, A. i in., 2006.

23 Muscat, A. i in., 2020.

24 Jasiulewicz, M., 2015.

25 Owczuk, M. i in., 2013.

26 Damyanova, S., Beschkov, V. 2020.

27 Nevzorova, T., Kutcherov, V. 2019.

Uwagi metodologiczne

Badania przeprowadzono w ujęciu regionalnym w Polsce. Zakresem przestrzennym badań szczegółowych objęto wszystkie województwa kraju. Przyjęto ujęcie uwzględniające te źródła OZE, które mogą występować w całym kraju bez większych ograniczeń, mogą być wytwarzane w każdym regionie i związane są z rolnictwem. Obliczono stosunek potencjału produkcji ciepła z biogazu do zużycia biogazu oraz analogiczny wskaźnik dla biomasy dla każdego z województw. W celu wykazania, które z województw osiągało najwyższą efektywność wykorzystano metodę Data Envelopment Analysis (DEA). Podstawą tej metody jest zbiór zmiennych oznaczających nakłady (inputs) oraz zbiór zmiennych oznaczających efekty (outputs). Metoda DEA jest szeroko stosowana do badania efektywności energetycznej jako metoda całkowitej oceny efektywności czynnikowej²⁸. DEA należy do grupy metod nieparametrycznych programowania liniowego, w której efektywność definiowana jest jako iloraz ważonej sumy efektów do ważonej sumy nakładów²⁹. Problemem, jaki rozwiązuje DEA jest maksymalizacja efektywności każdej z Decision-Making Units (DMUs) poprzez dobranie wag przypisanych do nakładów oraz efektów³⁰. Pozwala to na wskazanie jednostek względnie efektywnych i nieefektywnych oraz pomiar braku efektywności tych drugich. Takie ujęcie pozwala również porównywać DMUs o bardzo różnorodnej strukturze, naturze efektów i nakładów oraz szacować nieobserwowalne elementy technologiczne wprost z nakładów i efektów bez stosowania restrykcyjnych założeń o parametrach procesu produkcyjnego³¹. W metodzie tej zawsze co najmniej jeden obiekt posiada efektywność 100%. Efektywność wszystkich pozostałych porównujemy z obiektami o efektywności 100% i stąd uzyskuje się względną efektywność.

Przedstawiając ideę podstawowego modelu DEA, należy wskazać, że: y_{jk} ($j=1, \dots, n$) oznacza efekty, zaś x_{ik} ($i=1, \dots, m$) oznacza nakłady k -tej DMU ($k=1, \dots, r$). W DEA dla każdej ustalonej DMU (powiedzmy t) należy znaleźć układ wag dla nakładów v_{it} ($i=1, \dots, m$) oraz efektów w_{jt} ($j=1, \dots, n$) maksymalizujący wyrażenie

$$Ef_t = \frac{\sum_j^n w_{jt} y_{jt}}{\sum_i^m v_{it} x_{it}} \quad (1)$$

i spełniający układ warunków: $w_{jt} > 0$ ($j = 1, \dots, n$), $v_{it} > 0$ ($i = 1, \dots, m$)

$$\sum_i^m v_{it} x_{it} = 1 \quad (2)$$

$$Ef_k = \frac{\sum_j^n w_{jt} y_{jk}}{\sum_i^m v_{it} x_{ik}} \leq 1 \quad (k = 1, \dots, r) \quad (3)$$

W niniejszej pracy zastosowano opisany wyżej model CCR^{32,33} o stałych korzyściach skali (constant returns to scale) z dwoma nakładami i jednym efektem. Jako nakłady przyjęto zużycie biogazu i zużycie biomasy, zaś za efekt przyjęto produkcję ciepła łącznie z biogazu i biomasy.

28 Xu, T. i in., 2020.

29 Farrell, M.J., 1957.

30 Mardani, A., 2018.

31 Shabanpour, H. i in., 2017.

32 Charnes, A. i in., 1978.

33 Charnes, A. i in., 1985.

Metodologia potencjału biogazu

Biogaz jest produktem fermentacji beztlenowej odpadów organicznych, podczas której substancje organiczne są rozkładane przez bakterie na związki proste. W procesie fermentacji beztlenowej do 60% materii organicznej jest przekształcane w biogaz. Biogaz składa się z metanu (CH_4) w ilości 50~70%, dwutlenku węgla (CO_2) w ilości 25~45%, wody (H_2O) w ilości 2~7% w temperaturze 20~40 °C, azotu (N_2) w ilości 2~5%, tlenu (O_2) w ilości 0~2% i mniej niż wodoru (H_2) w ilości 1%, amoniaku (NH_3) w ilości 0~1% i siarki wodorowej (H_2S) w ilości 0~6000 ppm³⁴. Biogaz wykorzystywany do celów energetycznych powstaje w wyniku fermentacji:

- odpadów organicznych na wysypiskach śmieci,
- odpadów zwierzęcych w gospodarstwach rolnych,
- osadów ścieków w oczyszczalniach ścieków.

Najlepszy skład biogazu wysypiskowego odnotowany do tej pory wynosił 73,6% CH_4 i 26,4% CO_2 ³⁵. Jednak na potrzeby obliczeń przyjmuje się, że w warunkach beztlenowych wydziela się biogaz składający się z 55% metanu (CH_4) i 45% dwutlenku węgla (CO_2) oraz śladowych ilości innych gazów³⁶. Ponadto przyjmuje się także założenie, że w warunkach optymalnych produkcja i jakość biogazu są praktycznie stałe i wynoszą około 400~500 m³ biogazu z jednej tony odpadów komunalnych. Jednak w rzeczywistości nie wszystkie odpady organiczne ulegają pełnemu rozkładowi, a przebieg fermentacji zależy od wielu czynników. Ponadto wydajność produkcji biogazu zależy także od rodzaju pokrywy i zasięgu systemu zbierania³⁷. Dlatego też przyjmuje się, że z jednej tony odpadów można pozyskać maksymalnie do 200 m³ biogazu^{38,39}. Takie założenie przyjęto na potrzeby obliczeń dolnej wydajności produkcji biogazu. Natomiast w przypadku górnej wydajności produkcji biogazu przyjęto, że jest to 250 m³.

Źródłem biogazu mogą być również odpady powstające podczas produkcji rolnej (obornik, straty w uprawach). W gospodarstwach hodowlanych powstają znaczne ilości nawozów naturalnych, które mogą być wykorzystane do produkcji biogazu. Prowadząc obliczenia dla dolnych wydajności produkcji biogazu przyjęto, że z 1 m³ płynnych odchodów można uzyskać średnio 20 m³ biogazu, a z 1 m³ obornika – 30 m³ biogazu³⁸.

W przypadku górnej wydajności produkcji biogazu przyjęto, że z 1 tony obornika bydlęcego można uzyskać średnio 13,6 m³ metanu, z 1 tony obornika krów mlecznych - 15,6 m³ metanu, z 1 tony obornika świń - 14,4 m³ metanu, z 1 tony obornika owiec i kóz mlecznych - 48 m³ metanu, a z 1 tony obornika drobiu - 51,2 m³ metanu^{40,41,42,43,44}. Podstawą do przeprowadzenia analiz były dane statystyczne GUS dotyczące pogłowia zwierząt gospodarskich według siedziby gospodarstwa. Analizowane dane obejmowały stan pogłowia zwierząt gospodarskich w podziale na gatunki (bydło, trzoda chlewna, konie, owce, drób, kozy) i grupy użytkowe oraz średnie roczne wielkości produkcji nawozów naturalnych w zależności od gatunku zwierzęcia, jego wieku i wydajności oraz systemu utrzymania. W celu obliczenia emisji biogazu z nawozu pochodzącego od poszczególnych gatunków zwierząt posłużono się opracowaniem przygotowanym przez Instytut Zootechniki⁴⁵. W przypadku pogłowia bydła przyjęto założenie, że 92,9% populacji jest utrzymywana w systemie ściółkowym. W przypadku pogłowia trzody chlewnej przyjęto, że ponad 38,5% populacji jest utrzymywana w systemie ściółkowym⁴⁶.

Osad z oczyszczalni ścieków również jest wykorzystywany do produkcji biogazu. Do bezpośrednio produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie niemal we wszystkich oczyszczalniach komunalnych oraz w znacznej części oczyszczalni przemysłowych.

34 Kaltschmitt, M., Hartmann, H., 2017.

35 Francese, A. i in., 2000.

36 Zamorano, M. i in., 2007.

37 Morton, A. i in., 2009.

38 Bujakowski, W. i in., 2005.

39 Available online: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/26041.pdf> (accessed on 23 December 2021).

40 Wellinger, A. i in., 2013.

41 UlrichStohr, U. W., Hees, N., 1989.

42 Steffen, R. i in., 1998.

43 Angelis-Dimakis, A. i in., 2011.

44 Al Seadi, T., 2002.

45 Walczak, J. i in., 2012.

46 Hryniewicz, M., Grzybek, A., 2017.

Zgodnie z danymi statystycznymi GUS, w Polsce w 2010 r. działało 1155 oczyszczalni przemysłowych oraz 3136 oczyszczalni komunalnych. W 2020 r. liczba oczyszczalni przemysłowych zmalała do 876, natomiast liczba oczyszczalni komunalnych wzrosła do 3281. W prezentowanej pracy zastosowano podejście pozwalające na oszacowanie emisji biogazu na podstawie volumenu ścieków trafiających do oczyszczalni. Standardowo przyjmuje się, że z 1000 m³ ścieków wpływających do oczyszczalni powstaje około 10 m³ osadu, z którego można uzyskać 100-200 m³ biogazu o zawartości ok. 60% metanu^{47,48}. W przypadku ścieków wpływających do oczyszczalni przyjmuje się wartość 200 m³ wytworzonego biogazu na 1000 m³ wpływających do oczyszczalni ścieków, w przeliczeniu na ścieki pochodzące wyłącznie z sektora komunalnego. Jednak przy obliczaniu potencjału technicznego stosunek ten przyjmuje mniejszą wartość: 100 m³ biogazu z 1000 m³ ścieków wpływających do oczyszczalni (dolna wydajność produkcji biogazu)⁴⁹. Natomiast na potrzeby obliczeń dla górnej wydajności produkcji biogazu przyjęto wartość 150 m³.

W dalszych obliczeniach przyjęto, że pozyskany biogaz jest spalany w urządzeniach kogeneracyjnych, co zapewnia wyższą sprawność i pozwala na bardziej ekonomiczną produkcję energii. Wartość opałowa biogazu wynosi około 23 MJ/m³, w dalszych obliczeniach przyjęto, że z 1 m³ biogazu można wyprodukować 2,1 kWh energii elektrycznej oraz 9 MJ energii cieplnej^{50,51}. W omawianej pracy rozpatruje się dwa scenariusze: w pierwszym z nich całość pozyskanego biogazu jest wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej i ciepła w urządzeniach kogeneracyjnych, natomiast w drugim scenariuszu całość pozyskanego biogazu wykorzystywana jest do pokrycia zużycia gazu z sieci.

Metodologia potencjału biomasy stałej

Obliczenie potencjału biomasy stałej związane jest z wykorzystaniem nadwyżek słomy, siana, odpadów drzewnych czy upraw szybko rosnących na cele energetyczne, dlatego też wykorzystanie ich skoncentrowane jest na obszarach o intensywnej produkcji rolnej i drzewnej. Do oszacowania potencjału biomasy przyjęto, że pochodzić on będzie z produkcji roślinnej, w tym: nadwyżek słomy, nadwyżek siana, upraw energetycznych, sadów, produkcji leśnej, a także corocznych cięć przedrębnych i pielęgnacyjnych. Przy obliczaniu potencjału oferowanego przez gospodarkę drzewną przyjęto następujące założenia:

- z jednego 1 ha lasu można pozyskać 45 ton drewna, ilość tę przyjmuje się dla 1% powierzchni lasów, ponadto przyjęto, że z cięć przedrębnych i pielęgnacyjnych można pozyskać 12 ton drewna z hektara lasu i wielkość ta dotyczy 5% powierzchni lasów⁴⁷;
- w przypadku każdych 100 m³ masy drzewnej pozyskanej w lesie, po odliczeniu tarcicy 36 m³ przeznaczonej na gotowe wyroby z drewna można pozyskać 64 m³ masy drzewnej na cele energetyczne⁴⁷.

Obliczając potencjał energetyczny drewna oraz masy drzewnej przyjęto, że wartość opałowa wynosi 4,3 kWh/kg (15% wilgotność) oraz 5,14 kWh/kg (0% wilgotności).

W celu oceny nadwyżki słomy możliwej do wykorzystania na cele energetyczne posłużono się następującym równaniem⁵²:

$$N = P - (Z_s + Z_p + Z_n), \quad (4)$$

gdzie: N – nadwyżka słomy do wykorzystania poza rolnictwem (tony), P – wielkość produkcji słomy zbóż (tony), Z_s – zapotrzebowanie słomy na ściótkę (tony), Z_p – zapotrzebowanie słomy na paszę (tony), Z_n – zapotrzebowanie słomy na przyoranie (tony).

Obliczając wielkość produkcji słomy, zapotrzebowanie na paszę, ściótkę oraz przyoranie posłużono się metodyką zastosowaną w pracy M. Hrynkiewicza⁵³. W dalszej kolejności oszacowaną nadwyżkę słomy

47 Bujakowski, W. i in., 2005.

48 Available online: https://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater_biogas_grey_web-1.pdf (accessed on 31 January 2022).

49 Kołodziejak, G., 2012.

50 Zepter, J. M. i in., 2021.

51 Gabryszewska M. i in., 2010.

52 Ludwicka, A., Grzybek, A., 2010.

53 Hrynkiewicz, M., Grzybek, A., 2017.

przeliczono na energię cieplną oraz elektryczną, przyjmując, że 1 tona słomy o wilgotności 15% ma wartość opałową 13,1 GJ oraz 14,5 MJ/kg dla słomy o wilgotności 0%⁵⁴.

Znaczący zasób biomasy stanowi także siano uzyskiwane z trwałych użytków zielonych. W celu obliczenia nadwyżki siana posłużono się danymi statystycznymi GUS, obejmującymi zbiory z łąk trwałych i pastwisk trwałych, pogłowie przeżuwaczy (bydło, konie, owce, kozy) oraz ich roczne zapotrzebowanie na paszę⁵⁵. Oszacowaną nadwyżkę siana przeliczono na energię cieplną oraz elektryczną, przyjmując, że 1 tona siana o wilgotności 15% ma wartość opałową 13,4 GJ oraz 14,9 MJ/kg dla siana o wilgotności 0%⁵⁴.

Ważną rolę wśród potencjalnych zasobów biomasy stałej odgrywają także celowe uprawy energetyczne (wierzba, miskant, ślaziowiec pensylwański, topola). Analizę potencjału z plantacji energetycznych przeprowadzono na podstawie danych statystycznych GUS. Potencjał roślin energetycznych obliczono, posługując się równaniem⁵⁴:

$$P_w = [P_e + (P_g \cdot w_e)] \cdot Y_e, \quad (5)$$

gdzie: P_w – potencjał wieloletnich roślin energetycznych (tona/rok), P_e – powierzchnia istniejących plantacji wieloletnich roślin energetycznych (ha), P_g – suma powierzchni gruntów o V, VI oraz VIz klasie bonitacyjnej (ha), w_e – współczynnik wykorzystania gruntów pod uprawę wieloletnich roślin energetycznych (%), Y_e – przeciętny plon wieloletni (tona/ha).

W obliczeniach przyjęto wartość w_e równą 1/10 jako bezpieczną granicę eliminującą konkurencję między produkcją surowców a produkcją na cele żywnościowe⁵⁶. Na potrzeby obliczeń przyjęto także, że w przypadku gleb marginalnych przeciętny plon będzie się kształtować na poziomie 7,5 tony/ha⁵⁷, natomiast wartość energetyczną przyjęto na średnim poziomie od 15 MJ/kg do 19MJ/kg⁵⁸. Obliczając potencjał biomasy, pod uwagę wzięto także biomasę możliwą do uzyskania z pielęgnacji oraz wymiany drzewostanu w sadach; na potrzeby obliczeń przyjęto, że w skali roku z jednego hektara sadu można pozyskać 3 tony masy o wartości opałowej od 17MJ/kg do 20 MJ/kg⁵⁹.

W dalszych obliczeniach przyjęto, że pozyskana biomasa stała jest spalana w urządzeniach kogeneracyjnych o sprawności netto wynoszącej 67%.

Źródłem danych w pierwszym rozdziale jest zestawienie bilansu energetycznego Polski (edycja 2022), który jest udostępniony na stronie internetowej Eurostatu (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>).

Definicje pojęć

Energia pierwotna jest to energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii pozyskiwanych bezpośrednio z zasobów naturalnych odnawialnych i nieodnawialnych.

Energia pierwotna odnawialna jest to energia uzyskiwana z naturalnych, stale powtarzających się procesów przyrodniczych.

Pozyskanie jest to ilość energii uzyskana z naturalnych zasobów (dotyczy tylko nośników energii pierwotnej).

Produkcja (uzysk) jest to ilość nośników energii wytworzonych w procesach przemian energetycznych (dotyczy tylko nośników energii pochodnej).

Przemiana energetyczna jest to proces technologiczny, w którym jedna postać energii (przeważnie nośniki energii pierwotnej) zamieniana jest na inną, pochodną postać energii.

54 Jarosz, Z., 2017.

55 Koprówic, A., 2016.

56 Kuś, J., Faber, A., 2007.

57 Kołodziej, B., Martyka, M., 2012.

58 Han, S. H. i in., 2013.

59 Lach, A. i in., 2018.

Zużycie energii elektrycznej to zużycie energii elektrycznej ogółem obejmujące sektor przemysłowy, energetyczny, transportowy, gospodarstwa domowe, rolnictwo oraz pozostałe zużycie.

Odpady biodegradowalne to odpady podlegające tlenowemu lub beztlenowemu rozkładowi, zachodzącemu przy udziale mikroorganizmów. Jako przykładowe rodzaje odpadów biodegradowalnych tzw. dyrektywa składowiskowa nr 1999/31/WE wymienia żywność, odpady ogrodnicze, papier oraz tekturę.

Sprzedaż gazu z sieci – ilość wykorzystanego gazu ziemnego z sieci.

Kogeneracja to wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej w najbardziej efektywny sposób, czyli w jednym procesie technologicznym, tzw. skojarzeniu. Najistotniejszą zaletą kogeneracji jest wysoki stopień wykorzystania energii pierwotnej zawartej w paliwie do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Efektywność energetyczna systemu skojarzonego jest nawet o 30% wyższa niż w przypadku oddzielnego wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni kondensacyjnej i ciepła w kotłowni.

Sprzedaż ciepła z sieci to sprzedaż energii cieplnej ogółem w miastach oraz na wsi, obejmująca budynki mieszkalne oraz urzędy i instytucje.

Biogaz to gaz składający się głównie z metanu i dwutlenku węgla, uzyskiwany w procesie beztlenowej fermentacji biomasy. W sprawozdawczości statystycznej, ze względu na sposób pozyskiwania, wyodrębnia się: gaz wysypiskowy uzyskiwany w wyniku fermentacji odpadów na składowiskach; gaz z osadów ściekowych wytwarzany w wyniku beztlenowej fermentacji szlamu kanalizacyjnego; pozostałe biogazy, takie jak biogaz otrzymywany w wyniku beztlenowej fermentacji odchodów zwierzęcych, odpadów w rzeźniach, browarach i z innej działalności w przetwórstwie rolno-spożywczym.

Biomasa stała obejmuje organiczne, niekopalne substancje o pochodzeniu biologicznym, które mogą być wykorzystane w charakterze paliwa do produkcji energii cieplnej lub wytwarzania energii elektrycznej, w tym drewno, uprawy, odpady stałe biodegradowalne.

Drewno na opał to grubizna iglasta oraz grubizna liściasta przeznaczona na opał i pozyskana z lasów wszystkich form własności.

Methodological notes

The research was conducted on a regional basis in Poland. The spatial scope of detailed studies covered all voivodships of the country. The approach was adopted taking into account those RES sources which can be found throughout the country without major limitations, can be produced in any region and are related to agriculture. The ratio of biogas heat production potential to biogas consumption was calculated, as well as an analogous ratio for biomass for each voivodship. Data Envelopment Analysis (DEA) was used to show which of the voivodship achieved the highest efficiency. The basis of this method is a set of variables representing inputs and a set of variables representing outputs. The DEA method is widely used to study energy efficiency as a method of total factor efficiency evaluation⁶⁰. DEA belongs to the group of non-parametric linear programming methods, in which efficiency is defined as the quotient of the weighted sum of outputs to the weighted sum of inputs⁶¹. The problem that DEA solves is to maximise the efficiency of each Decision-Making Unit (DMUs) by selecting the weights assigned to inputs and outputs⁶². This allows the identification of relatively efficient and inefficient units and the measurement of the inefficiency of the latter. This approach also makes it possible to compare DMUs of very different structure, nature of outputs and inputs, and to estimate unobservable technological elements directly from inputs and outputs without using restrictive assumptions about the parameters of the production process⁶³. In this method, always at least one object has an efficiency of 100%. The efficiency of all the others is compared with the objects with efficiency of 100% and thus the relative efficiency is obtained.

In presenting the idea of the basic DEA model, it should be pointed out that: y_{jk} ($j=1, \dots, n$) denotes the outputs, and x_{ik} ($i=1, \dots, m$) denotes the inputs k th DMU ($k=1, \dots, r$). In DEA, for each fixed DMU (say t) one should find the system of weights for inputs v_{it} ($i=1, \dots, m$) and outputs w_{jt} ($j=1, \dots, n$) maximising the expression

$$Ef_t = \frac{\sum_j^n w_{jt} y_{jt}}{\sum_i^m v_{it} x_{it}} \quad (1)$$

and fulfilling the conditions: $w_{jt} > 0$ ($j = 1, \dots, n$), $v_{it} > 0$ ($i = 1, \dots, m$)

$$\sum_i^m v_{it} x_{it} = 1 \quad (2)$$

$$Ef_k = \frac{\sum_j^n w_{jt} y_{jk}}{\sum_i^m v_{it} x_{ik}} \leq 1 \quad (k = 1, \dots, r) \quad (3)$$

In this study, the CCR model^{64,65} described above was used, with constant returns to scale, with two inputs and one output. The inputs are biogas consumption and biomass consumption, while the outputs are heat production from biogas and biomass combined.

60 Xu, T. et al., 2020.

61 Farrell, M.J., 1957.

62 Mardani, A., 2018.

63 Shabanpour, H. et al., 2017.

64 Charnes, A. et al., 1978.

65 Charnes, A. et al., 1985.

Methodology of biogas potential

Biogas is the product of anaerobic digestion of organic waste, during which organic substances are broken down by bacteria into simple compounds. In the process of anaerobic digestion up to 60% of organic matter is converted into biogas. Biogas contains 50~70% methane (CH₄), 25~45% carbon dioxide (CO₂), 2~7% water (H₂O) at 20~40 °C, 2~5% nitrogen (N₂), 0~2% oxygen (O₂), less than 1% hydrogen (H₂), 0~1% ammonia (NH₃) and 0~6000 ppm hydrogen sulphur (H₂S) in 0~6000 ppm⁶⁶. Biogas used for energy purposes is produced by fermentation of:

- organic waste in landfills,
- animal waste on farms,
- sewage sludge in sewage treatment plants.

The best landfill biogas composition recorded so far was 73.6% CH₄ and 26.4% CO₂⁶⁷. However, for the purposes of calculations, it is assumed that under anaerobic conditions biogas consisting of 55% methane (CH₄) and 45% carbon dioxide (CO₂) and trace amounts of other gases is released⁶⁸. In addition, it is also assumed that under optimal conditions the biogas production and quality are practically constant at around 400~500 m³ biogas per tonne of municipal waste. However, in reality not all organic waste is fully degradable and the fermentation process depends on many factors. Furthermore, the biogas production efficiency also depends on the type of cover and the extent of the collection system⁶⁹. Therefore, it is assumed that a maximum of 200 m³ biogas can be obtained from one tonne of waste^{70,71}. This assumption has been made for the calculation of the lower biogas yield. The upper biogas production capacity is assumed to be 250 m³.

Waste generated during agricultural production (manure, crop losses) can also be a source of biogas. Livestock farms produce significant amounts of natural fertilisers, which can be used for biogas production. When calculating the lower biogas production capacity, it was assumed that from 1 m³ of liquid manure an average of 20 m³ of biogas can be obtained, and from 1 m³ of manure - 30 m³ of biogas⁷⁰.

In the case of the upper efficiency of biogas production, it was assumed that from 1 tonne of cattle manure an average of 13.6 m³ of methane can be obtained, from 1 tonne of dairy cow manure - 15.6 m³ of methane, from 1 tonne of pig manure - 14.4 m³ of methane, from 1 tonne of sheep and dairy goat manure - 48 m³ of methane, and from 1 tonne of poultry manure - 51.2 m³ of methane^{72,73,74,75,76}. The analyses were based on statistical data of Statistics Poland. The analysed data included livestock stock by species (cattle, pigs, horses, sheep, poultry, goats) and by functional groups, as well as average annual manure production volumes depending on the animal species, its age and productivity and the housing system. In order to calculate biogas emission from manure originating from individual animal species, a study prepared by the Zootechnics Institute was used⁷⁷. In the case of the cattle population, it was assumed that 92.9% of the population is maintained in the barn system. In the case of pigs population it was assumed that over 38.5% of the population is kept in the litter system⁷⁸.

Sludge from sewage treatment plants is also used for biogas production. Biological wastewater treatment plants are best suited for direct biogas production and are used in almost all municipal wastewater treatment plants and in a significant proportion of industrial wastewater treatment plants. According to Statistics Poland statistics, in Poland in 2010 there were 1155 industrial wastewater treatment plants and 3136 municipal wastewater treatment plants in operation. In 2020, the number of industrial wastewater treatment plants decreased to 876, while the number of municipal wastewater treatment plants incre-

66 Kaltschmitt, M., Hartmann, H., 2017.

67 Francese, A. et al., 2000.

68 Zamorano, M. et al., 2007.

69 Morton, A. et al., 2009.

70 Bujakowski, W. et al., 2005.

71 Available online: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/26041.pdf> (accessed on 23 December 2021).

72 Wellinger, A. et al., 2013.

73 UlrichStohr, U. W., Hees, N., 1989.

74 Steffen, R. et al., 1998.

75 Angelis-Dimakis, A. et al., 2011.

76 Al Seadi, T., 2002.

77 Walczak, J. et al., 2012.

78 Hryniewicz, M., Grzybek, A., 2017.

ased to 3281. In this study, an approach that allowed to estimate biogas emissions based on the volume of wastewater entering wastewater treatment plants was used. A standard assumption is that 1000 m³ of sewage entering a treatment plant yields about 10 m³ of sludge, from which 100-200 m³ of biogas containing about 60% methane can be obtained^{79,80}. A value of 200 m³ of biogas produced per 1000 m³ of incoming wastewater is assumed for wastewater from the municipal sector only. However, when calculating the technical potential, the ratio takes a lower value: 100 m³ biogas per 1000 m³ of waste water entering the plant (lower biogas production capacity)⁸¹. However, for the purpose of calculations for the upper biogas production capacity, a value of 150 m³ was assumed.

In further calculations it has been assumed that the obtained biogas is burned in cogeneration equipment, which ensures higher efficiency and allows for more economical energy production. The calorific value of biogas is about 23 MJ/m³, and further calculations assume that 1 m³ of biogas can produce 2,1 kWh of electricity and 9 MJ of heat^{82,83}. In this study, two scenarios are considered: in the first scenario, all of the biogas produced is used to produce electricity and heat in cogeneration units, while in the second scenario, all of the biogas produced is used to cover the consumption of gas from the supply system.

Methodology of solid biomass potential

The calculation of solid biomass potential is related to the use of surplus straw, hay, wood waste or fast growing crops for energy purposes, therefore their use is concentrated in areas with intensive agricultural and wood production. To estimate the biomass potential, it was assumed that it would come from crop production, including: straw surpluses, hay surpluses, energy crops, orchards, forestry production, as well as annual pre-felling and maintenance cuts. When calculating the potential offered by the timber economy, the following assumptions were made:

- 45 tonnes of timber can be harvested from one hectare of forest, this amount being assumed for 1% of the forest area; furthermore, it was assumed that 12 tonnes of timber can be harvested from one hectare of forest from pre-cutting and tending cuts, and this amount concerns 5% of the forest area⁷⁹.
- for each 100 m³ of wood mass harvested in the forest, after deducting 36 m³ of sawn wood for finished wood products, 64 m³ of wood mass can be harvested for energy purposes⁷⁹.

When calculating the energy potential of wood and wood pulp, it was assumed that the calorific value is 4.3 kWh/kg (15% moisture content) and 5.14 kWh/kg (0% moisture content).

The following equation was used to assess the surplus of straw that could be used for energy purposes⁸⁴:

$$N = P - (Z_s + Z_p + Z_n), \quad (4)$$

where: N - straw surplus for non-agricultural use (tonnes), P - cereal straw production volume (tonnes), Z_s - straw demand for bedding (tonnes), Z_p - straw demand for fodder (tonnes), Z_n - straw demand for ploughing (tonnes).

Straw production, fodder, litter and residue requirements were calculated according to the methodology used in M. Hryniewicz's work⁸⁵. Then, the estimated straw surplus was converted into heat and electricity by assuming that 1 tonne of straw with 15% moisture has a calorific value of 13.1 GJ and 14.5 MJ/kg for straw with 0% moisture content⁸⁶.

Hay obtained from permanent grassland is also a significant biomass resource. In order to calculate the hay surplus, statistical data of Statistics Poland were used, including yields from permanent grasslands

⁷⁹ Bujakowski, W. et al., 2005.

⁸⁰ Available online: https://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater_biogas_grey_web-1.pdf (accessed on 31 January 2022).

⁸¹ Kołodziejak, G., 2012.

⁸² Zepter, J.M. et al., 2021.

⁸³ Gabryszewska, M. et al., 2010.

⁸⁴ Ludwicka, A., Grzybek, A., 2010.

⁸⁵ Hryniewicz, M., Grzybek, A., 2017.

⁸⁶ Jarosz, Z., 2017.

and permanent pastures, livestock of ruminants (cattle, horses, sheep, goats) and their annual demand for fodder. The estimated hay surplus was converted into heat and electricity by assuming that 1 tonne of hay with 15% moisture has a calorific value of 13.4 GJ and 14.9 MJ/kg for hay with 0% moisture⁸⁷.

An important role among the potential resources of solid biomass is also played by targeted energy crops (willow, miscanthus, Pennsylvania sida, poplar). The analysis of potential from energy plantations was carried out on the basis of statistical data from Statistics Poland. The potential of energy crops was calculated using the equation⁸⁸:

$$P_w = [P_e + (P_g \cdot w_e)] \cdot Y_e \quad (5)$$

where: P_w - potential of perennial energy crops (tonne/year), P_e - area of existing plantations of perennial energy crops (ha), P_g - sum of land of V, VI and VIz bonitation class (ha), w_e - land use coefficient for perennial energy crops (%), Y_e - average perennial yield (tonne/ha).

In the calculations, the w_e value of 1/10 was assumed as a safe limit eliminating competition between the production of raw materials and production for food purposes⁸⁹. For the purpose of the calculations, it was also assumed that in the case of marginal soils the average yield would be at the level of 7.5 tonnes/ha⁹⁰, while the energy value was assumed at the average level between 15 MJ/kg to 19 MJ/kg⁹¹. Then, calculating the biomass potential, the biomass obtained from tending and replacing orchards was also taken into account, and for the purpose of the calculations it was assumed that per year one hectare of orchard could produce 3 tonnes of dry matter with a calorific value between 17 MJ/kg and 20 MJ/kg⁹².

Further calculations assume that the harvested solid biomass is burned in cogeneration equipment with a net efficiency of 67%.

The data source for the first chapter is the summary of the energy balance of Poland (edition 2022), which is made available on the Eurostat website (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>).

Definitions of terms

Primary energy is energy included in primary energy carriers obtained directly from natural renewable and non-renewable resources.

Renewable primary energy means energy obtained from natural, constantly repeating natural processes.

Acquisition is the amount of energy obtained from natural resources (only for primary energy carriers).

Production (yield) is the amount of energy carriers produced in energy transformation processes (only for derivative energy carriers).

Energy transformation is a technological process in which one form of energy (usually primary energy commodity) is converted into the other, derived form.

Electricity consumption is the total consumption of electricity including sectors of industry, energy, transport, households, agriculture and other consumption.

Biodegradable waste is waste that undergoes aerobic or anaerobic decomposition by micro-organisms. The so-called Landfill Directive 1999/31/EC lists food, garden waste, paper and cardboard as examples of biodegradable waste.

87 Jarosz, Z., 2017

88 Koprońicz, A., 2016.

89 Kuś, J., Faber, A., 2007.

90 Kołodziej, B., Martyka, M., 2012.

91 Han, S.H. et al., 2013.

92 Lach, A. et al., 2018.

Sales of gas from the supply system - the amount of utilised natural gas from the supply system.

Cogeneration - cogeneration is the production of heat and electricity in the most efficient way, i.e. in one technological process, the so-called cogeneration. The most important advantage of cogeneration is the high degree of use of primary energy contained in the fuel to produce electricity and heat. The energy efficiency of the cogeneration system is up to 30% higher than that of separate production of electricity in a condensing power plant and heat in a heating plant.

Sales of heat from the supply system are the total sales of heat energy in urban and rural areas, including residential buildings and offices and institutions.

Biogas is a gas composed principally of methane and carbon dioxide produced by anaerobic digestion of biomass. Due to the method of obtaining it the following gases are enumerated in statistical reporting: - landfill gas, formed by the digestion of landfilled wastes, - sewage sludge gas, produced from the anaerobic fermentation of sewage sludge, - other biogas, such as biogas produced from the anaerobic fermentation of animal slurries and of wastes in abattoirs, breweries and other agro-food industries.

Solid biomass includes organic, non-fossil material of biological origin that can be used as a fuel for heating or electricity generation, including wood, crops, biodegradable solid waste.

Firewood is coniferous and deciduous wood for firewood harvested from forests of all ownerships.

Bibliografia

Bibliography

1. Pöschl, M.; Ward, S.; Owende, P. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied Energy*, 2010, 87(11), 3305–3321. doi:10.1016/j.apenergy.2010.05.011
2. Alluvione, F.; Moretti, B.; Sacco, D.; Grignani, C. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*, 2011, 36(7), 4468–4481, doi:10.1016/j.energy.2011.03.075.
3. Jalali Sepehr, M.; Haeri, A.; Ghousi, R., A cross-country evaluation of energy efficiency from the sustainable development perspective, *International Journal of Energy Sector Management*, 2019, 13,4, 991-1019. doi:10.1108/IJESM-03-2018-0005
4. Kaygusuz, K. Sustainable energy, environmental and agricultural policies in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 2010, 51(5), 1075–1084. doi:10.1016/j.enconman.2009.12.012
5. Wang, B.; Song, J.; Ren, J.; Li, K.; Duan, H.; Wang, X. Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: A fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 142, 78–87. doi:10.1016/j.resconrec.2018.11.011
6. Sutherland, L.-A.; Peter, S.; Zagata, L. Conceptualising multi-regime interactions: The role of the agriculture sector in renewable energy transitions. *Research Policy*, 2015, 44(8), 1543–1554, doi:10.1016/j.respol.2015.05.013
7. Farrell, M.J. The Measurement of Productive Efficiency, *The Journal of the Royal Statistical Society, Seria A*, 120 (III), 1957, 253–281.
8. Ignaciuk, A.; Vöhringer, F.; Ruijs, A.; van Ierland, E.C. Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis. *Energy Policy*, 2006, 34(10), 1127–1138, doi:10.1016/j.enpol.2004.09.010.
9. Muscat, A.; de Olde, E.M.; de Boer, I.J.M.; Ripoll-Bosch R. The battle for biomass: A systematic review of food-feed-fuel competition. *Global Food Security*. 2020, 25, 100330, 1-11, doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100330.
10. Jasiulewicz, M. Production of energy from agribiomass in Poland in the background of selected countries of the European Union. *Roczniki Naukowe SERiA*, 2015, 8(2), 94-99.
11. Owczuk, M.; Wardzińska, D.; Zamojska-Jaroszewicz, A.; Matuszewska, A. Wykorzystanie odpadów biodegradowalnych do produkcji biogazu jako alternatywnego źródła energii odnawialnej. *Studia Ecologiae et Bioethicae UKSW* 2013, 11, 3, 133-144.
12. Damyanova, S.; Beschkov, V. Biogas as a Source of Energy and Chemicals. *Biorefinery Concepts, Energy and Products*, IntechOpen, 2020, doi:10.5772/intechopen.90558
13. Nevzorova, T.; Kutcherov, V. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*. 26, 2019, 100414, doi:10.1016/j.esr.2019.100414.
14. Xu, T.; You, J.; Li, H.; Shao, L. Energy Efficiency Evaluation Based on Data Envelopment Analysis: A Literature Review. *Energies* 2020, 13, 3548
15. Farrell, M.J. The Measurement of Productive Efficiency, *The Journal of the Royal Statistical Society, Seria A*, 120 (III), 1957, 253–281.
16. Mardani, A.; Streimikiene, D.; Balezentis, T.; Saman, M.; Nor, K.M.; Khoshnava, S. Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Economics: An Overview of the State-of-the-Art and Recent Development Trends, *Energies*, 2018, 11(8), 2002, doi.org/10.3390/en11082002.
17. Shabanpour, H.; Yousefi, S.; Saen, R.F. Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks. *J. Clean. Prod.* 2017, 142, 1098–1107, doi. 10.1016/j.jclepro.2016.08.147.
18. Charnes A.; Cooper, W.W.; Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units, *European, Journal of Operational Research*, 1978, 2.

19. Charnes A.; Cooper, W.W.; Golany, B.; Seiford, L.M.; Stutz, J. Foundations of Data Envelopment. Analysis for Pareto–Koopman’s Efficient Empirical Production Functions, *Journal of Econometrics*, 1985, 30, 91–107.
20. M. Kaltschmitt, H. Hartmann Biogaserzeugung undnutzung Energ. Aus Biomass, Springer Berlin Heidelberg (2001), pp. 641-694, 10.1007/978-3-662-07025-3_15
21. Francese, A. P.; Francese, A. P.; Aboagye-Mathiesen, G.; Olesen, T.; Córdoba, P. R.; Siñeriz, F., (2000). Feeding approaches for biogas production from animal wastes and industrial effluents. *World. J. Microb. Biot.*, 16 (2), 147-150
22. Zamorano, M.; Ignacio Pérez Pérez, J.; Aguilar Pavés, I.; Ramos, R. A., (2007). Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 11 (5), 909-922
23. Morton A. Barlaz, Jeff P. Chanton & Roger B. Green (2009) Controls on Landfill Gas Collection Efficiency: Instantaneous and Lifetime Performance, *Journal of the Air&Waste Management Association*, 59:12, 1399-1404, DOI: 10.3155/1047-3289.59.12.1399
24. W. Bujakowski, A. Barbacki, A. Grzybek, G. Hołojuch, L. Pająk, A. Skoczek, M. Skrzypczak, S. Skrzypczak, „Opracowanie metody programowania i modelowania systemów wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach nieprzemysłowych województwa śląskiego, wraz z programem wykonawczym dla wybranych obszarów województwa” Część I: Metodyka Opracowania, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków-Katowice, 2005 r.
25. Available online: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/26041.pdf> (accessed on 23 December 2021)
26. A. Wellinger, J. Murphy, D. Baxter, editors. *The biogas handbook. Science, production and applications.* Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited; 2013.
27. U. W. UlrichStohr, N. Hees. *Biogas plants in animal husbandry. A practical guide.* Deutsches Zentrum für Entr. ddungstechnologien - GATE, Eschborn, Germany; 1989
28. R. Steffen, O. Szolar, R. Braun. *Feedstocks for anaerobic digestion.* Vienna: University of Agricultural Sciences. Institute for Agrobiotechnology Tulln; 1998
29. A. Angelis-Dimakis, M. Biberacher, J. Dominguez, G. Fiorese, S. Gadocha, E. Gnansounou, G. Guariso, A. Kartalidis, L. Panichelli, I. Pinedo, M. Robba. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1182–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>
30. T. Al Seadi. *Good practice in quality management of AD residues from biogas production.* Esbjerg, Denmark; 2002
31. J. Walczak, K. Wojciech, A. Szewczyk, D. Mazur, T. Pająk, P. Radecki, „Oszacowanie wielkości produkcji oraz jednostkowej zawartości azotu nawozów naturalnych, powstałych w różnych systemach utrzymania zwierząt gospodarskich w Polsce”, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Kraków, 25 czerwca 2012 r.
32. M. Hryniewicz, A. Grzybek, „Nadwyżka słomy dostępnej do wykorzystania na potrzeby energetyczne w 2016 r.” *Problemy Inżynierii Rolniczej*, z. 3 (97), (VII-IX) 2017 r.
33. Available online: https://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater_biogas_grey_web-1.pdf (accessed on 31 January 2022)
34. G. Kołodziejak, *Możliwości wykorzystania potencjału energetycznego biogazu powstającego w trakcie procesu oczyszczania ścieków. Analiza opłacalności proponowanych rozwiązań.* NAFTA-GAZ, grudzień 2012 r.
35. J. M. Zepter, J. Engelhardt, T. Gabderakhmanova, M. Marinelli “Empirical Validation of a Biogas Plant Simulation Model and Analysis of Biogas Upgrading Potentials,” *Energies* 2021, 14, 2424. <https://doi.org/10.3390/en14092424>

36. Gabryszewska M. i inni, Opracowanie bazy danych z zakresu biogazu i instalacji biogazowych zykogeneracją, PIMOT, DS/128, Warszawa, 2010 r.
37. A. Ludwicka, A. Grzybek, „Bilans masy rolnej (słomy) na potrzeby energetyki.”, *Probl. Inż. Rol.*, 2, pp. 101-110, 2010 r.
38. Z. Jarosz, „Potencjał energetyczny biomasy roślinnej i możliwości wykorzystania do celów energetycznych”, *Problemy Rolnictwa Światowego*, tom 17 (XXXII), zeszyt 2, pp. 81-92, 2017r.
39. A. Koprowicz, „Planowanie bilansu paszowego w gospodarstwach mlecznych,” MPODR Karniowice, 2016
40. J. Kuś, A. Faber, „Alternatywne kierunki produkcji rolniczej, *Studia i Raporty IUNG-PIB Puławy*”, 7, pp. 138-158, 2007 r.
41. B. Kołodziej, M. Martyka, „Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne,” PWRiL, Poznań, s. 444, 2012 r.
42. S. H. Han, Soo-jeong Shin, B. R. Kim, N. S. Aggangan, C. W. Yun, „Growth chemical composition and energy contents of seven clones of one-year-old *Salix caprea* L. as short rotation coppice,” *Asia Life Sciences* 22(2), pp. 413-426, July, 2013 r.
43. A. Lach, A. Dyjakon, T. Noszczyk, „Sady jabłoniowe jako lokalne źródło biomasy do ogrzewania gospodarstw domowych w województwie mazowieckim,” *Rolnictwo XXI - wieku problemy i wyzwania*, pp. 528-539, 2018 r.