

Bogdan Kościk

ZASOBY SŁOMY I SIANA NA CELE ENERGETYCZNE GMINY ŁASZCZÓW

Bogdan Kościk, prof. dr hab. – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

adres korespondencyjny:
Wydział Nauk Rolniczych w Zamościu
22-400 Zamość, ul. Szczepieszka 102
e-mail: bogdan.koscik@up.lublin.pl

RESOURCES OF STRAW AND HAY FOR ENERGETIC PURPOSES IN ŁASZCZÓW COMMUNITY

SUMMARY: The estimation of straw and hay for energy purposes in the area of Łaszczów commune was conducted. Straw surplus was identified after taking into account demand for that kind of raw material from agriculture sector. Additionally the amount of hay from uncultivated pastures and meadows. Total number of biomass from that sources amounts to about 7 thousand tons what gives energy value almost 78 thousands GJ. Rationally utilization of that biomass could have an influence on natural environment improvement thanks to reduction of pollution that equals the energetic amount of hard coal. Biomass utilization could have also positive influence on individual farms and labour marked in the region.

KEY WORDS: biomass, straw, hay

Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie na biomasę wynika z powodów ekonomicznych (wzrost cen konwencjonalnych paliw, jak węgiel, gaz i ropa naftowa, kosztów transportu surowców kopalnych) i środowiskowych (zwiększona świadomość ekologiczna dotycząca zanieczyszczenia środowiska przez związki emitowane podczas spalania węgla i paliw ropopochodnych). Dla energetyki zawodowej bardzo istotnym powodem zastępowania kopalin surowcami odnawialnymi są względy prawne i zobowiązania wynikające z przepisów krajowych i międzynarodowych. Zgodnie z wymogami prawa producenci energii są zobowiązani do zwiększania udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, a w przypadku biomasy niezbędne jest stopniowe zmniejszanie zużycia biomasy pochodzącej z lasów i przemysłu drzewnego. Drewno powinno być zastępowane biomasą pochodzącą z rolnictwa, określaną potocznie „agrobiomasą”. Szeroko dostępnym surowcem odnawialnym jest słoma, której wykorzystanie jako paliwa zainicjowano w Skandynawii, aby następnie upowszechnić technologie w innych krajach Europy. Pierwszy projekt upowszechniający wykorzystanie słomy w kotłowniach na obszarach wiejskich został zrealizowany w latach dziewięćdziesiątych XX wieku. Pozytywny przykład instalacji ogrzewających budynki użyteczności publicznej oraz gospodarstwa rolne pozwolił na dość szybki rozwój tej technologii oraz zakładów produkujących kotły przystosowane do spalania biomasy w postaci kostek i balotów. Kolejnym krokiem było zastosowanie słomy do produkcji granulatów opałowych: brykietów i peletów. Te stałe paliwa wytwarzane były pierwotnie z drewna i odpadów drzewnych, jednak w związku z ograniczoną podażą drewna sięgnięto po słomę jako surowiec tańszy i powszechnie dostępny.

Przeznaczanie słomy na cele energetyczne spotyka się często z krytyką ze strony gleboznawców i chemików rolnych, którzy postulują przyorywanie słomy, nie zaś jej spalanie. Ubożenie polskich gleb wynika po części ze zmniejszenia ilości obornika powstającego w rolnictwie. W tej sytuacji należy rozważyć, czy ilość słomy powstającej w rolnictwie jest wystarczająca zarówno w celu pokrycia zapotrzebowania w rolnictwie, jak i w energetyce.

Słoma to dojrzałe lub wysuszone źdźbła roślin zbożowych, a także wysuszone łodygi roślin strączkowych, lnu i rzepaku. Jej podstawowym składnikiem jest włókno surowe i związki bezazotowe wyciągowe. Przy tym charakteryzuje się wysoką zawartością suchej masy (około 85%), a także zdolnością do chłonięcia wody i gazów. Czynniki te przez wiele lat decydowały o kierunkach jej wykorzystania w rolnictwie jako ściółki dla zwierząt gospodarskich, a następnie w postaci obornika – do użyźniania gleby. W wielu krajach stanowi ona cenny surowiec

do użyźniania i zwiększania urodzajności gleby, od lat siedemdziesiątych XX wieku także jako surowiec energetyczny – na przykład w Danii¹.

Słoma może być wykorzystywana jako:

- ściółka;
- pasza dla zwierząt gospodarskich;
- nawóz na przyoranie, a nadwyżki mogą być zagospodarowane w alternatywny sposób, w tym także na potrzeby energetyczne.

Celem pracy jest oszacowanie potencjału słomy i siana do wykorzystania na cele energetyczne w gminie Łaszczów (powiat tomaszowski, województwo lubelskie).

1. Wykorzystanie słomy w rolnictwie

Na wielkość wytworzonej ilości słomy wpływają następujące czynniki: powierzchnia uprawy roślin, plon, gatunek roślin, odmiana, nawożenie, przebieg pogody i inne. Obecnie w uprawie znajdują się nowe odmiany zbóż sztynnosłomych i krótkosłomych, co wpłynęło na zmniejszenie stosunku plonu słomy do plonu ziarna². Najstarszą metodą zagospodarowania słomy było, i wciąż jest, użycie jej jako materiału ściółkowego. Stosowana jest w chowie wszystkich zwierząt gospodarskich, zwłaszcza w gospodarstwach posiadających tradycyjne budynki inwentarskie. Ilość stosowanej ściółki jest różna i zależy od gatunku zwierząt, jakości paszy, konstrukcji budynków (w oborach głębokich zużywa się znacznie więcej ściółki niż w oborach płytkich). Roczne zapotrzebowanie na słomę ściółową zależy też od liczby dni przebywania zwierząt w pomieszczeniach. Efektem końcowym tego sposobu wykorzystania słomy jest cenny nawóz organiczny – obornik. Jego skład chemiczny zależy od składu użytej do ściółkowania słomy. Największą zawartość azotu uzyskuje się z obornika wyprodukowanego w chlewniach, fosforu i potasu – w stajniach i chlewniach, a obornik zawierający w swoim składzie najwięcej wapnia pozyskuje się z chlewni i owczarni. Spadek pogłównia zwierząt gospodarskich spowodował znaczne zmniejszenie zużycia słomy na ściółkę.

Wraz ze znaczącym spadkiem pogłównia zwierząt obserwuje się wzrost udziału w strukturze zasiewów zbóż i rzepaku. W tej sytuacji pojawił się problem nadwyżek słomy, a także siana, głównie na gruntach po byłych PGR-ach, gdzie w większości gospodarstw prowadzona jest gospodarka bezinwentarzowa. W przypadku słomy nadwyżki te początkowo prawie w całości wykorzystywano

¹ W. Denisiuk, *Optymalizacja zbioru słomy na cele energetyczne*, w: *Racjonalne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii*, red. P. Gradziuk, Wyd. MODR Warszawa, Oddział Poświętne w Płońsku, Płońsk 2009, s. 79-84.

² P. Gradziuk, *Produkcja i kierunki wykorzystania słomy*, w: *Słoma energetyczne paliwo*, red. A. Grzybek, P. Gradziuk, K. Kowalczyk, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2001, s. 17-22; J. Kuś, A. Madej, J. Kopiński, *Bilans słomy w ujęciu regionalnym*, „Raporty IUNG-PIB”, Puławy 2006 z. 3, s. 211-226.

na cele nawozowe poprzez jej palenie bądź przyorywanie. Nawożenie słomą zwiększa zawartość makroelementów i mikroelementów oraz wpływa dodatnio na bilans składników pokarmowych w glebie. Ponadto słoma wykorzystana na cele nawozowe może być bardzo ważnym źródłem substancji organicznej, która istotnie wpływa na strukturę gleby i równowagę stosunków powietrzno-wodnych. Z analiz składu chemicznego słomy wynika, że jest ona głównie nośnikiem nawozu potasowego, którego zawiera sześć razy więcej niż fosforu. Słoma owsiana i jęczmienna charakteryzują się wyższą strawnością i zawierają więcej składników pokarmowych niż słoma pszena i żytnia. Z tych względów słoma zbóż ozimych i rzepaku jest bezpośrednio przyorywana lub stosowana do produkcji obornika, a słoma zbóż jarych (w tym owsa, jęczmienia) używana jest do skarmiania.

Mimo niskiej wartości pokarmowej słoma stanowi często niezbędny składnik pasz, zwłaszcza dla przeżuwaczy (bydła i owiec). Wypełniając przewód pokarmowy, stwarza poczucie sytości, uzupełnia suchą masę pasz soczystych oraz równowagę nadmiar białka.

Słoma jest stosowana do nawożenia gruntów ornych. W tym celu w pierwszej kolejności powinna być przeznaczona słoma:

- kukurydzy uprawianej na ziarno, którą zbiera się późną jesienią, często w listopadzie lub nawet w grudniu, kiedy wilgotność słomy jest bardzo duża i nie ma możliwości jej dosuszenia na polu;
- roślin strączkowych, która w warunkach kombajnowego ich zbioru jest silnie rozdrobniona i praktycznie bardzo trudno jest ją zebrać; ponadto zawiera kilkakrotnie więcej azotu niż słoma zbóż, dlatego też powinna być ona przyorywana lub ewentualnie przeznaczona na paszę;
- rzepakowa, uzyskiwana w większych gospodarstwach, w których obsada zwierząt jest mała, a w strukturze zasiewów dominują zboża i rzepak; w takich gospodarstwach konieczne jest przyorywanie na wybranych polach słomy, ponieważ za jej pośrednictwem nie są przenoszone choroby grzybowe zbóż (nie występują one na rzepaku) oraz ulega w glebie szybszemu rozkładowi niż słoma zbóż, a ponadto zawiera więcej azotu niż słoma zbożowa i przy jej przyorywaniu nie jest konieczne stosowanie dodatkowego nawożenia azotem.

Przyorywanie słomy ma również duże znaczenie w walce z chwastami, ponieważ są one z nią przyorywane. Część z nich bardzo szybko wykiełkuje i da się je zniszczyć innymi zabiegami odchwaszczającymi. Te natomiast, które zostaną przykryte grubą warstwą gleby, utracą zdolność kiełkowania. Przyorywanie słomy powinno być stosowane raz na 2-4 lata z uwzględnieniem wzbogacenia w azot, które ma na celu wyrównanie stosunku C:N.

Zbyt częste przyorywanie słomy zbożowej może powodować także szereg niekorzystnych zjawisk. Zaliczamy do nich między innymi powstawanie w glebie biologicznie czynnych substancji o inhibicyjnym działaniu na uprawiane rośliny (głównie zboża), które szczególnie wyraźnie hamują początkowy wzrost roślin. Ponadto może prowadzić do zachwiania gospodarki azotowej w glebie, gdyż słoma zbożowa zawiera tylko około 0,5% azotu, a stosunek węgla do azotu (C:N)

kształtuje się w niej jak 80-100:1. Mikroorganizmy prowadzące jej rozkład w glebie muszą pobierać azot z innych źródeł, co może powodować gorsze zapotrzebowanie roślin w ten składnik. Przyorywanie słomy, szczególnie zbóż ozimych pod zboża ozime, stwarza niebezpieczeństwo nasilonego występowania niektórych chorób, głównie naczyniowej pasiastości zbóż, której nie potrafimy chemicznie zwalczać³.

Oprócz przyorywania słomy po jej rozdrobnieniu praktykowane było jej spalanie na polu, a następnie przeorywanie pozostałej substancji mineralnej, czyli popiołu. Metoda ta wymaga zbliżonych nakładów pieniężnych jak takie samo użycie słomy rozdrobnionej. Ponadto zabieg ten jest bardzo szkodliwy dla środowiska przyrodniczego. Materia organiczna, którą stanowi słoma, zamiast wracać do gleby i brać udział w procesach mikrobiologicznego rozkładu, niezbędnego dla prawidłowego funkcjonowania agroekosystemu, ulega całkowitemu zniszczeniu przez ogień, a zawarty w niej azot ulatnia się do atmosfery. Działanie wysokich temperatur powoduje nadmierne nagrzewanie wierzchniej warstwy gleby, co prowadzi do jej dezaktywacji biologicznej. Ginią drobnoustroje glebowe, które uczestniczą w procesach rozkładu i mineralizacji materii organicznej, a także część fauny glebowej; niszczone jest struktura gruzełkowata, co jest bardzo szkodliwe dla stosunków powietrzno-wodnych w glebie (zmniejsza się retencja wodna oraz porowatość, co uniemożliwia napowietrzanie gleby). Procesy tlenowe przechodzą wówczas w beztlenowe, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym dla wszelkiego rodzaju procesów biochemicznych zachodzących w glebie. W wyniku tego funkcjonowanie ekosystemu może zostać na pewien czas przyhamowane, co niekorzystnie odbija się na poziomie produkcji. Spalanie słomy, chociaż jest zabiegiem sanitarnym i odchwaszczającym dla gleb, to jednak niszczy nie tylko populacje szkodników, patogenów oraz chwastów, ale też biocenozy korzystne. W bilansie strat i korzyści wynikających ze spalania słomy poźniowej zdecydowanie przeważają straty. Obserwowane w ostatnich latach nagminne wypalanie po żniwach słomy na polu jest zjawiskiem niewłaściwym, niepożądaną formą zagospodarowania nadwyżki słomy. Proceder ten stosują rolnicy głównie na terenach, gdzie w strukturze zasiewów zboża i rzepak przekraczają 50%⁴.

Znane są także inne sposoby wykorzystywania słomy w rolnictwie, między innymi do zabezpieczania kopców z ziemniakami, do produkcji materiałów izolacyjnych dla ogrodnictwa i budownictwa. Stosowanie słomy do produkcji materiałów izolacyjnych w budownictwie ma na celu głównie zabezpieczenie nowo wykonywanych powierzchni betonowych przed ujemnym wpływem niskich temperatur. Na polskim rynku pojawiły się pomysły produkcji materiałów budowlanych i elementów wykończeniowych z udziałem słomy.

Mimo różnych możliwości wykorzystania słomy w rolnictwie należy stwierdzić, iż istnieje znaczący potencjał tego surowca, który obecnie nie znajduje ra-

³ W. H. Denisiuk, J. Piechocki, *Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze*, Wyd. UWM, Olsztyn 2005.

⁴ P. Gradziuk, *Produkcja...*, op.cit., s. 17-22.

cyjnego wykorzystania. Rozwiązaniem tej sytuacji powinno stać się jej zastosowanie jako surowca energetycznego.

Oceniając potencjalne ilości słomy możliwej do alternatywnego zagospodarowania, należy podkreślić, że w rejonach o rozdrobnionej strukturze agrarnej nieopłacalny będzie jej zbiór i transport, występują również duże wahania wielkości jej zbioru w latach. W związku z tym można szacować, iż nadwyżki produkcji słomy, które mogą być realnie przeznaczone na cele energetyczne, wynoszą w skali kraju około 4-5 mln ton. Szczególnie duże ilości słomy na cele energetyczne mogą być przeznaczone w rejonach o dominacji dużych gospodarstw, ponieważ w strukturze zasiewów takich gospodarstw udział powierzchni uprawy zbóż i rzepaku często przekracza 90%, obsada zwierząt jest bardzo mała (często poniżej 0,2 sztuki obornikowej na 1 ha), a na większych polach koszty zbioru słomy na cele energetyczne są znacznie mniejsze.

2. Słoma jako surowiec energetyczny

Słoma może mieć duże znaczenie jako surowiec energetyczny na obszarach wiejskich, gdzie występuje jej nadmiar w stosunku do możliwości wykorzystania w rolnictwie. Może być też transportowana, zwłaszcza po zagęszczeniu, do przedsiębiorstw produkujących energię elektryczną i ciepło.

Najbardziej realne jest wykorzystanie na cele energetyczne słomy zbóż i rzepaku, której roczne zbiory w skali kraju wynoszą około 24-29 mln ton. We wcześniejszym okresie, w tradycyjnym sposobie gospodarowania, słoma była przeznaczona na paszę i ściółkę i generalnie nie notowano znaczących jej nadwyżek. W ostatnim okresie nastąpiły jednak duże zmiany w produkcji rolniczej. Powierzchnia uprawy zbóż w latach 1985-2004 zwiększyła się z 7,8 do około 8,6 mln ha, a udział tej grupy roślin w strukturze zasiewów wzrósł z około 54 do 75%, równocześnie zmniejszyło się pogłowie: bydła o 31%, owiec o 60% i koni o 50%, co drastycznie ograniczyło zużycie słomy na paszę i ściółkę. Poza tym powstała duża grupa gospodarstw bezinwentarzowych – w 2002 roku podstawowych grup zwierząt (bydła i trzody chlewnej) nie posiadało 878 tys. indywidualnych gospodarstw rolnych, co stanowi 45% całkowitej liczby gospodarstw w kraju. W ostatnim dziesięcioleciu tendencja ta znacznie się pogłębiła. Przy braku produkcji zwierzęcej, a tym samym nawozów naturalnych, dla utrzymania zrównoważonego bilansu próchnicy w glebie konieczne jest przyorywanie pewnej ilości słomy. Mimo to w takich gospodarstwach występują duże nadwyżki słomy, która może być wykorzystywana na cele alternatywne, w tym energetyczne.

Na potrzeby energetyczne może być użyta słoma wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Jednak ze względu na właściwości najczęściej używana jest słoma: żytnia, pszenna, rzepakowa i gryczana oraz słoma i osadki kukurydzy. Natomiast słoma owsiana, ze względu na niską temperaturę topnienia popiołu, nie jest zalecana jako paliwo, jednak w przypadku jej dużej podaży może być na przykład mieszana ze słomą innych zbóż i również spalana lub stosowana

do produkcji granulatu. Skład chemiczny słomy, który ma wpływ na proces energetycznego wykorzystania tego surowca, uzależniony jest od warunków glebowych, klimatycznych oraz działań człowieka.

W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi nośnikami energii słoma jest dość uciążliwym materiałem energetycznym. Podstawową cechą odróżniającą ją od węgla jest jej budowa fizjologiczna. Przestrzenno-rurkowa struktura źdźbła słomy powoduje, że jest to materiał objętościowy, który charakteryzuje się nadmiarem powietrza. Ponadto jest materiałem niejednorodnym, o niższej wartości energetycznej w porównaniu z konwencjonalnymi nośnikami energii odniesionej do jednostki objętości. Szczególną uwagę zwraca większa ilość substancji lotnych oraz niższa zawartość siarki w porównaniu z węglem.

Wartość energetyczna słomy zależy głównie od jej wilgotności (na przykład wartość opałowa słomy pszennej o wilgotności 12-22% wynosi około $17,311 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wilgotność słomy świeżej najczęściej waha się między 12 a 22%, a w pewnych przypadkach może być nawet wyższa. Parametr ten zależy od rodzaju rośliny oraz od warunków atmosferycznych, w jakich odbywał się zbiór. Zbyt wysoka wilgotność słomy wpływa nie tylko na zmniejszenie wartości energetycznej, ale również na przebieg samego spalania, powodując podwyższoną emisję zanieczyszczeń w spalinach. Duża wilgotność słomy może też powodować problemy w magazynowaniu, transporcie, rozdrabnianiu jej podczas zadawania do paleniska. Maksymalna dopuszczalna wilgotność jest różna dla różnych instalacji, lecz na ogół wynosi 18-25%. Wartość opałowa słomy jest odwrotna do zawartości wilgoci. Na tej podstawie wylicza się cenę słomy jako surowca dla celów energetycznych. Słomę trudno uznać za jednolite paliwo, a podstawowym warunkiem efektywnego jej wykorzystania jest zachowanie określonych rygorów jakościowych, szczególnie wilgotności⁵.

Słoma świeża, nazywana „żółta”, zawiera metale alkaliczne i związki chloru, które wywierają wpływ na procesy korozji i powstawanie żużlu. Przeznaczona na cele energetyczne powinna być więc poddana procesowi wędnięcia, w czasie którego szkodliwe związki wymywane są przez opady atmosferyczne. Stopień zwędnięcia świadczy o tym, jak długo pozostawała ona na polu i była poddana działaniu zmiennych warunków atmosferycznych, a następnie została wysuszona. Im większy jest stopień jej zwędnięcia, tym większe prawdopodobieństwo, że zmniejszona została zawartość metali alkalicznych i związków chloru, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia korozyjności i zażuzłania elementów kotła w procesie spalania. Charakterystyczną cechą słomy poddanej tym procesom jest szary kolor w porównaniu do słomy świeżej, która ma kolor żółty. Słoma szara jest więc bardziej przydatna na potrzeby energetyczne niż żółta, ponadto cechuje się nieco wyższą wartością opałową⁶.

⁵ E. Krasowski, M. Krasowska, *Gospodarka energetyczna w rolnictwie*, Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin 2001.

⁶ A. Grzybek, *Właściwości słomy jako paliwa*, w: *Słoma energetyczne paliwo*, red. A. Grzybek, P. Gradziuk, K. Kowalczyk, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2001, s. 23-24.

Szczegóły rozwiązań technologicznych, stosowanych przez producentów kół, pozwalają na spalanie słomy w różnej postaci⁷:

- suchej siewki;
- granulatu (brykiety, pelety);
- balotów lub kostek;
- balotów poszarpanych.

Słoma jest paliwem neutralnym dla środowiska, a energetyczne zagospodarowanie jej nadwyżek nie powoduje zwiększenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery, jako że mniej więcej tyle samo CO₂ jest emitowane do atmosfery w trakcie jej spalania, ile pochłaniają z atmosfery rośliny w trakcie fotosyntezy.

3. Szacowanie potencjału słomy możliwej do wykorzystania na cele energetyczne

Dokładne ustalenie bilansu słomy w makroskali (województwo lub kraj) jest praktycznie niemożliwe, gdyż w tak dużych jednostkach administracyjnych występuje pewna rejonizacja produkcji. W związku z tym bardziej miarodajne wyniki można uzyskać dla mniejszych jednostek administracyjnych (gmina, powiat) lub dla dużych gospodarstw. Na potrzeby bilansowania można przyjąć, że plony słomy w gospodarstwie lub jednostce administracyjnej są zbliżone do plonów ziarna. W rozdysponowaniu słomy, obok zużycia na ściótkę i paszę, konieczne jest przeznaczenie pewnej jej ilości na przyoranie.

W Polsce od 1995 roku zbiory słomy zaczęły przewyższać zapotrzebowanie wynikające z produkcji rolniczej. Niekorzystnym zjawiskiem, choć charakterystycznym dla rolnictwa były występujące fluktuacje w zbiorach słomy, co nie pozostawało bez wpływu na poziom jej nadwyżek. Wahania te, choć występujące co kilka lat są jedną z barier hamujących wykorzystanie słomy poza rolnictwem. Potencjalni inwestorzy, rozpatrujący budowę elektrociepłowni wykorzystującej słomę lub instalacji do zagęszczania „miękkiej” biomasy, obawiają się przede wszystkim konieczności gromadzenia zapasów na lata o niższych urodzajach, co w poważnym stopniu wpływa na koszty. Plony słomy zależą od gatunku i odmiany uprawianego zboża, jakości gleby, przebiegu pogody w danym roku oraz stosowanej technologii produkcji (nawożenie, przedplon, regulatory wzrostu zbóż). Ponadto w warunkach kombajnowego zbioru zbóż czynnikiem istotnie wpływającym na plon słomy jest wysokość koszenia oraz dokładność jej zbioru, a więc parametry zależne od jakości maszyn (kombajnów, pras) oraz techniki prowadzenia prac polowych⁸.

⁷ W. M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wyd. WNT, Warszawa 2006, s. 339.

⁸ A. Grzybek, P. Gradziuk, K. Kowalczyk, *Słoma energetyczne paliwo*, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2001.

3.1. Produkcja słomy w badanej gminie

Badania własne przeprowadzono dla obszaru wybranej gminy o charakterze rolniczym. Gmina Łaszczów leży w województwie lubelskim, w powiecie tomaszowskim.

Słoma w pierwszej kolejności powinna pokryć zapotrzebowanie produkcji zwierzęcej oraz utrzymać zrównoważony bilans glebowej substancji organicznej. W związku z tym, aby ocenić potencjał słomy, którą można pozyskać na cele energetyczne, zbiory słomy w danym regionie pomniejszono o jej zużycie w rolnictwie. Do obliczeń wykorzystano następującą formułę:

$$N = P - (Z_s + Z_p + Z_n) \text{ [t]}, \quad (1)$$

gdzie:

- N – nadwyżka słomy do alternatywnego (energetycznego) wykorzystania,
- P – produkcja słomy zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku,
- Z_s – zapotrzebowanie na słomę ściółkową,
- Z_p – zapotrzebowanie na słomę na pasze,
- Z_n – zapotrzebowanie na słomę do przyorania,

Do oceny produkcji słomy na obszarze gminy Łaszczów wykorzystano zależności opisywane w literaturze z zakresu produkcji roślinnej. Wyjściowym założeniem było to, że plony ziarna i słomy zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku układają się w pewnych proporcjach w stosunku do siebie. Zależność tę wykorzystuje się przy oszacowaniu plonu słomy (współczynnik plonu słomy do plonu ziarna w_{sz}). Można go również oszacować, wychodząc z powierzchni uprawy (w_{sa}). Dla rzepaku i rzepiku stosunek plonu słomy do plonu ziarna jest równy 1, zaś zbiór słomy w stosunku do areału upraw wynosi 2,2 (1,8-4,0)⁹.

Tabela 1

Stosunek plonu słomy do plonu ziarna zbóż

Poziom plonu ziarna [t/ha]	Zboża ozime				Zboża jare		
	pszenica	pszenżyto	żyto	jęczmień	pszenica	jęczmień	owies
2,01-3,0	0,86	1,18	1,45	0,94	1,13	0,78	1,05
3,01-4,0	0,91	1,13	1,44	0,80	0,94	0,86	1,08
4,01-5,0	0,91	1,14	1,35	0,70	0,83	0,77	1,05
5,01-6,0	0,92	1,13	1,24	0,71	0,81	0,72	1,01
6,01-7,0	0,90	0,94	-	-	-	0,68	-
7,01-8,0	0,83	-	-	-	-	0,67	-
Zbiór słomy w stosunku do areału upraw w_{sa}	4,4 (2,2-6,2)	4,9 (2,95-6,1)	5,1 (2,6-6,8)	3,0 (2,25-3,9)	3,6 (2,8-4,4)	3,6 (1,95-5,0)	4,4 (3,6-5,5)

Plon ziarna = 1

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Harasim, *Relacja między plonem słomy i ziarna zbóż*, „Pamiętnik Puławski” 1994, z. 104; E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2009.

⁹ E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2009.

W przeprowadzonych badaniach produkcję słomy na obszarze gminy Łaszczów obliczono na podstawie następującego wzoru:

$$P = \sum_{i=1}^n A \cdot Y \cdot w_{zs} \text{ [t] lub } P = \sum_{i=1}^n A \cdot w_{za} \text{ ,} \quad (2)$$

gdzie:

- P – produkcja słomy zbóż podstawowych oraz rzepaku i rzepiku,
- A – powierzchnia i-tego gatunku rośliny [ha],
- Y – plon ziarna i-tego gatunku rośliny [t/ha],
- w_{zs} – stosunek plonu słomy do plonu ziarna,
- w_{za} – zbiór słomy w stosunku do areału upraw.

Tabela 2

Powierzchnia zasiewów zbóż oraz produkcja słomy w gminie Łaszczów

Gatunek	Powierzchnia [ha]	Zbiór słomy w stosunku do areału upraw [t/ha]	Produkcja słomy zbóż podstawowych i rzepaku [t/rok]
pszenica ozima	3 657,15	4,40	16 091,46
pszenica jara	893,14	3,60	3 215,30
żyto	34,13	5,10	174,06
jęczmień ozimy	41,26	3,00	123,78
jęczmień jary	562,66	3,60	2 025,58
owies	19,76	4,40	86,94
pszenżyto ozime	2,91	4,90	14,26
pszenżyto jare	4,12	4,90	20,19
mieszanki zbożowe ozime	4,75	4,40	20,90
mieszanki zbożowe jare	133,00	4,40	585,20
rzepak ozimy	186,57	2,20	410,45
rzepak jary	7,24	2,20	15,93
ogółem	5 546,69	–	22 784,06

Źródło: obliczenia własne.

3.2. Zapotrzebowanie na słomę w rolnictwie

Zapotrzebowanie na słomę zużywaną w produkcji zwierzęcej (pasza i ściółka) oblicza się na podstawie liczebności pogłowia zwierząt gospodarskich i rocznych normatywów dla poszczególnych gatunków i grup użytkowych (tabela 3) według poniższych wzorów:

$$Z_s = \sum_{i=1}^n q_i s_i \text{ , } Z_p = \sum_{i=1}^n q_i p_i \text{ ,} \quad (3)$$

gdzie:

- Z_s – zapotrzebowanie słomy na ściółkę,
- Z_p – zapotrzebowanie słomy na paszę,
- q_i – pogłowie i-tego gatunku i grupy użytkowej,
- s_i – normatyw zapotrzebowania słomy na ściółkę i-tego gatunku i grupy użytkowej,
- p_i – normatyw zapotrzebowania słomy na paszę i-tego gatunku i grupy użytkowej.

Tabela 3

Normatywy zapotrzebowania słomy na paszę i ściółkę oraz produkcję obornika [t/rok]

Wyszczególnienie	Pasze (p _i)	Ściółka (s _i)	Obornik (o _i)
Bydło:			
• krowy	1,2	1,0	2,5
• pozostałe	0,6	0,5	1,6
Trzoda chlewna:			
• lochy	–	0,5	0,6
• pozostałe	–	0,2	0,4
Owce	0,2	0,2	0,25
Konie	0,8	0,9	1,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie: E. Majewski, M. Wojtkiewicz, W. Zabrzewska, *Ćwiczenia z organizacji i ekonomiki gospodarstw rolniczych – zbiór danych liczbowych*, Wyd. SGGW-AR, Warszawa 1983; J. Kozakiewicz, E. Nieściór, *Słoma i sposoby jej użytkowania w gospodarstwach rolniczych*, IUNG, Puławy 1984.

W analizie uwzględniono również zużycie słomy niezbędnej do reprodukcji substancji organicznej w glebie, które ustala się na podstawie odrębnych analiz obejmujących strukturę zasiewów, jakość gleb, oraz saldo substancji organicznej. Należy mieć na uwadze proporcję pomiędzy roślinami, które poprawiają zasobność gleby w substancję organiczną (strączkowe, motylkowate, trawy), a tymi, które degradują materię organiczną w glebie (zboża, okopowe, przemysłowe). Wzrost lub ubytek substancji organicznej można mierzyć za pomocą współczynników określających jej reprodukcję albo degradację (tabela 4).

Tabela 4

Współczynniki reprodukcji i degradacji substancji organicznej w glebie

Rośliny	Współczynniki w _n i w _d dla różnych rodzajów gleb w tonach suchej masy obornika		
	lekkich	średnich	ciężkich
Okopowe, warzywa korzeniowe (w _{d1})	-3,6	-4,0	-4,4
Kukurydza, warzywa liściaste (w _{d2})	-2,7	-3,0	-3,3
Zboża, oleiste, włókniste (w _{d3})	-1,4	-1,5	-1,6
Strączkowe (w _{r1})	+0,9	+1,0	+1,1
Trawy w uprawie polowej (w _{r2})	+2,7	+3,0	+3,3
Motylkowate wieloletnie i ich mieszańki z trawami (w _{r3})	+5,4	+5,6	+6,0

Źródło: C. Maćkowiak, *Bilans substancji organicznej w glebach Polski*. Biuletyn Informacyjny, IUNG, Puławy 1997, s. 4-5.

Na podstawie danych dotyczących powierzchni zasiewów poszczególnych grup roślin oraz ilości produkowanego obornika, którą obliczono na podstawie pogłowia zwierząt i odpowiednich normatywów (o_i) (tabela 3), określone zostało saldo substancji organicznej według następującej formuły:

$$S = \sum_{i=1}^n r_i w_{ri} + \sum_{i=1}^n d_i w_{di} + \sum_{i=1}^n q_i o_i, \quad (4)$$

Tabela 5
Zapotrzebowanie słomy na cele rolnicze w gminie Łaszczów

Gatunek	Liczba [szt.]	Normatyw zapotrzebowania słomy na paszę – p_i	Zapotrzebowanie słomy na paszę – Z_p	Normatyw zapotrzebowania słomy na ściółkę – s_i	Zapotrzebowanie słomy na ściółkę – Z_s	Normatyw produkcji obornika – o_i	Produkcja obornika
Bydło							
krowy	1 612,0	1,2	1 934,4	1,0	1 612,0	2,5	4 030,0
pozostałe	1 593,0	0,6	955,8	0,5	796,5	1,6	2 548,8
Trzoda chlewna							
lochy	383,0	0,0	0,0	0,5	191,5	0,6	229,8
pozostałe	3 271,0	0,0	0,0	0,2	654,2	0,4	1 308,4
Owce	131,0	0,2	26,2	0,2	26,2	0,25	32,75
Konie	161,0	0,8	128,8	0,9	144,9	1,6	257,6
Ogółem			3 045,2		3 425,3		8 407,35

Źródło: obliczenia własne.

gdzie:

- r_i – powierzchnia grup roślin zwiększających zawartość substancji organicznej,
 d_i – powierzchnia grup roślin zmniejszających zawartość substancji organicznej,
 w_{ri} – współczynnik reprodukcji substancji organicznej dla danej grupy roślin,
 w_{di} – współczynnik degradacji substancji organicznej dla danej grupy roślin,
 q_i – pogłowie inwentarza żywego w sztukach fizycznych według gatunków i grup wiekowych,
 o_i – normatywy produkcji obornika w tonach/rok według gatunków.

Stwierdzenie ujemnego salda substancji organicznej oznacza, że aby utrzymać zrównoważony bilans substancji organicznej w glebie, należy przyorać określoną ilość słomy. Zakładając, że 1 tona suchej masy obornika równoważna jest 1,54 tony słomy, zapotrzebowanie słomy na przyoranie (Z_n) obliczyć należy według wzoru:

$$Z_n = 1,54 S, \quad (5)$$

gdzie:

- Z_n – zapotrzebowanie słomy na przyoranie [t],
 S – saldo substancji organicznej.

Dla gminy Łaszczów saldo substancji organicznej wynosi:

$$S = 976,27 + (-16 189,35) + 8 407,35 = -6 805,73 \text{ [t]}.$$

W związku ze stwierdzeniem ujemnego salda substancji organicznej obliczono zapotrzebowanie słomy na przyoranie:

$$Z_n = 1,54 \cdot S = 1,54 \cdot 6 805,73 = 10 480,82 \text{ [t]},$$

gdzie:

- Z_n – zapotrzebowanie słomy na przyoranie [t];
 S – saldo substancji organicznej [t].

Tabela 6
Bilans materii organicznej w glebie

Gatunek	Powierzchnia [ha]	Współczynnik reprodukcji i degradacji substancji organicznej w_m i w_n	Bilans materii organicznej wynikający ze struktury zasiewów [t]
pszenica ozima	3 657,15	-1,50	-5 485,73
pszenica jara	893,14	-1,50	-1 339,71
żyto	34,13	-1,50	-51,20
jęczmień ozimy	41,26	-1,50	-61,89
jęczmień jary	562,66	-1,50	-843,99
owies	19,76	-1,50	-29,64
pszenżyto ozime	2,91	-1,50	-4,37
pszenżyto jare	4,12	-1,50	-6,18
mieszanki zbożowe ozime	4,75	-1,50	-7,13
mieszanki zbożowe jare	133,00	-1,50	-199,50
gryka, proso i inne zbożowe	0,03	-1,50	-0,05
kukurydza na ziarno	37,28	-3,00	-111,84
kukurydza na zielonkę	65,48	-3,00	-196,44
strączkowe jadalne	976,27	1,00	976,27
ziemniaki	264,43	-4,00	-1 057,72
buraki cukrowe	1 267,31	-4,00	-5 069,24
rzepak ozimy	186,57	-1,50	-279,86
rzepak jary	7,24	-1,50	-10,86
okopowe pastewne	32,07	-4,00	-128,28
warzywa gruntowe	390,85	-3,00	-1 172,55
truskawki	44,40	-3,00	-133,20
rośliny zwiększające zawartość substancji organicznej	976,27		976,27
rośliny zmniejszające zawartość substancji organicznej	7 648,54		-16 189,35
Ogółem	8 624,81		-15 213,08

Źródło: obliczenia własne.

Na podstawie powyższej analizy określono, że aby zachować odpowiedni bilans materii organicznej w glebie gruntach ornych w gminie Łaszczów, należy przyorać około 10,5 tys. t słomy.

3.3. Nadwyżka słomy na cele energetyczne

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na oszacowanie nadwyżki słomy możliwej do przeznaczania na potrzeby energetyczne w gminie Łaszczów:

$$N = P - (Z_s + Z_p + Z_n) = 22\,784,06 - (3425,3 + 3045,2 + 10\,480,82) = 5\,832,73 \text{ t/rok.}$$

Potencjał techniczny słomy, którą można pozyskać na obszarze badanej gminy, wynosi około 5,8 tys. ton. Może ona zostać przeznaczona na cele energetycz-

ne, a więc spalona w kotłach ogrzewających gospodarstwa rolne, czy też w kotłowniach lokalnych, ogrzewających na przykład budynki użyteczności publicznej, jak szkoły, przychodnie. W przypadku braku lokalnego wykorzystania można tę ilość wykorzystać do produkcji granulatów opałowych – brykietów lub peletów – a następnie przetransportować je do elektrowni, czy też elektrociepłowni. Na terenie badanej gminy funkcjonuje zakład zajmujący się zagęszczaniem biomasy, dla którego słoma jest ważnym surowcem.

Ilość energii zawartej w słomie można w przybliżeniu ustalić, przyjmując jednostkową wartość energetyczną słomy na poziomie 17,3 MJ/kg suchej masy i jej średnią wilgotność 17% (wilgotność słomy waha się w granicach 12-22%). Zinventaryzowana ilość słomy pozwala na wytworzenie ponad 81 tys. GJ energii. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że urządzenia energetyczne wykorzystujące biomasę, podobnie jak inne surowce opałowe, posiadają ograniczoną sprawność. Tylko część energii zawartej w węglu, biomasie czy w gazie możliwa jest do pozyskania w postaci energii użytecznej. Aby więc ustalić techniczny potencjał energii zawartej w słomie, pomniejszono wyliczoną wartość o sprawność urządzeń. Większość kotłów opalanych biomasą charakteryzuje się sprawnością na poziomie 70-90%. W obliczeniach własnych przyjęto 80% sprawność kotłów. Pozwoliło to na ustalenie, że nadwyżki słomy w gminie Łaszczów pozwalają na wyprodukowanie 65 064 GJ energii. Potencjał ten może zostać wykorzystany w przypadku odpowiedniej organizacji rynku zbytu, rozwoju firm przetwarzających biomasę czy budowy lokalnych kotłowni. Bardzo istotnym czynnikiem warunkującym wykorzystanie lokalnego potencjału słomy będzie jej cena, która stanowi główny bodziec do podejmowania decyzji w gospodarstwie rolnym. Na przestrzeni ostatnich lat znacznie wzrosła, co pozwala przypuszczać, że producenci rolni coraz uważniej będą rozpatrywać możliwość zbytu słomy w miejsce jej bezproduktywnego spalania lub magazynowania.

4. Szacowanie potencjału siana możliwego do wykorzystania na cele energetyczne

Obserwowany w ostatnich latach spadek pogłowia zwierząt gospodarskich powoduje, że powierzchnia trwałych użytków zielonych przewyższa zapotrzebowanie rolnictwa, co wiąże się z ekstensywnym ich użytkowaniem lub wręcz zaniechaniem zbioru siana i degradacją łąk. Według danych GUS-u, powierzchnia trwałych użytków zielonych w Polsce wynosiła w 2008 roku 3 184,4 tys. ha, co stanowiło 10,1% powierzchni kraju. Natomiast powierzchnia trwałych łąk (w 2008 roku) zajmowała 2 450,3 tys. ha i stanowiła 76,9% trwałych użytków zielonych, a powierzchnia pastwisk wynosiła 734,1 tys. ha. W ostatnich kilkunastu latach ich powierzchnia zmniejszyła się prawie o 1 mln ha, a wykorzystanie pozostałych uległo ogromnej ekstensyfikacji, czy wręcz zaniechaniu z powodu spadku pogłowia zwierząt, głównie przeżuwaczy. Około 50% łąk i pastwisk

w skali całego kraju jest niedostatecznie wykorzystanych, a około 10% stanowią nieużytki. Nieużytkowane łąki podlegają procesom sukcesji wtórnej, w wyniku czego ich walory przyrodnicze ulegają degradacji. Już po kilku latach wykształcają się zbiorowiska zdominowane przez jeden lub kilka gatunków, na przykład bardzo pospolite na porzuconych świeżych łąkach zbiorowisko z dominacją pokrzywy i ostrożeńca polnego. W dalszej kolejności nasila się ekspansja drzew i krzewów. Znaczne zaniedbania eksploatacyjne i istotne zniszczenia w urządzeniach melioracyjnych spowodowały, że odprowadzają one wodę w niekontrolowany sposób. Następuje przesuszenie i degradacja gleb organicznych. Na obszarach podmokłych roślinność typowa dla wilgotnych łąk i pastwisk jest zastępowana przez turzyce i trzcinę, co w połączeniu z niskim poziomem gospodarowania i wykorzystania łąk i pastwisk stwarza zagrożenie dla ich istnienia, wartości produkcyjnej oraz środowiska i bioróżnorodności. Nieużytkowanie łąk ma więc negatywne skutki przyrodnicze, a ponadto bezproduktywnie marnowana jest olbrzymia ilość biomasy¹⁰. W przypadku niewykorzystania potencjału produkcyjnego łąk i pastwisk na cele paszowe część biomasy z tych terenów można przeznaczać na cele energetyczne.

Łąki są położone głównie w dolinach rzek, tworząc kompleksy o dużych powierzchniach, co sprzyja wykorzystaniu dużego, specjalistycznego sprzętu, zwiększa jego wydajność oraz zmniejsza koszty pozyskania biomasy. Ponadto uzyskanie płatności do trwałych użytków zielonych uwarunkowane jest co najmniej jednokrotnym koszeniem łąki. Powyższe informacje pozwalają stwierdzić, że wykaszanie łąk jest wskazane zarówno z punktu widzenia środowiskowego, jak i ekonomicznego. W przypadku braku możliwości zagospodarowania siana na cele paszowe w danym gospodarstwie należy rozpatrzyć opcję energetycznego zagospodarowania nadwyżek siana.

Potencjał siana w gminie Łaszczów określono jako iloczyn powierzchni łąk, współczynnika ich wykorzystania na cele energetyczne i wielkości plonu:

$$P_{si} = A_l \cdot w_{ws} \cdot Y_{si} \text{ [t/rok}^{-1}\text{]}, \quad (6)$$

gdzie:

- P_{si} – potencjał siana,
- A_l – powierzchnia trwałych użytków zielonych [ha],
- w_{ws} – współczynnik wykorzystania na cele energetyczne,
- Y_{si} – plon siana [t/ha/rok].

Precyzyjne określenie współczynnika wykorzystania łąk na cele energetyczne wymaga znajomości sposobu użytkowania trwałych użytków zielonych na badanym obszarze, ze szczególnym uwzględnieniem powierzchni łąk i pastwisk nieskoszonych. Przeciętnie w skali kraju współczynnik ten kształtuje się na poziomie 5-10%; w badaniach własnych wskaźnik ten przyjęto na poziomie 10,2%. Plon siana zależny jest od warunków siedliskowych. W warunkach Polski średni plon wynosi około 4 t·ha⁻¹. Trwałe użytki zielone w gminie Łaszczów położone są na gruntach o dość dobrej jakości, stąd też przyjęto plon siana nieco wyższy (4,93 t·ha⁻¹).

¹⁰ H. Jankowska-Huflejt, *Użytki zielone jako czynnik kształtowania jakości i obiegu wód w obszarach wiejskich*, „Wieś Jutra” 2006 nr 6(95), s. 46-48.

Tabela 7
Obliczenia potencjału siana na cele energetyczne

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość	Uwagi
Powierzchnia łąk trwałych	A_l	[ha]	2 297	
Współczynnik wykorzystania łąk na cele energetyczne	w_{ws}	[%]	10,2	dane krajowe na podstawie opracowania "Wyniki produkcji roślinnej w Polsce 2009", GUS, Warszawa
Plon siana	Y_{si}	[t/ha/rok]	4,93	
Potencjał siana	P_{si}	[t/rok]	1 155	

Źródło: obliczenia własne.

Trwałe użytki zielone na terenie gminy Łaszczów mogą stanowić źródło ponad tysiąca ton biomasy, którą można przeznaczyć na cele energetyczne. Zakładając, że wartość energetyczna siana wynosi $17,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy, a jego wilgotność 16%, można obliczyć, że potencjał energii zawartej w sianie z nieużytkowanych łąk wynosi ponad 16 tys. GJ. Siano może być spalane w tych samych urządzeniach co słoma, dlatego przyjęto sprawność instalacji na poziomie 80%. Uwzględniając ten współczynnik, ustalono, że w gminie Łaszczów potencjał techniczny siana wyrażony w jednostkach energii wynosi 12 911 GJ.

Podsumowanie

Poszukiwanie alternatywnych surowców przez energetykę zawodową, a także rozwój lokalnych ciepłowni wykorzystujących biomasę powoduje wzrost zainteresowania nadwyżkami słomy powstającymi w rolnictwie. Budowa instalacji przetwarzających biomasę wymaga wcześniejszej oceny zasobów surowcowych w regionie. Słoma powinna być w pierwszej kolejności wykorzystana na cele rolnicze: jako ściółka i pasza dla zwierząt gospodarskich. Drugim ważnym kierunkiem jej zagospodarowania powinno być przyorywanie w gospodarstwach, które nie dysponują obornikiem, aby uniknąć zmniejszenia zawartości substancji organicznej w glebie. Dopiero nadwyżki słomy powinny być przeznaczane na potrzeby energetyczne.

Energetyka może też racjonalnie zagospodarować nadmiar siana pozyskiwanego z trwałych użytków zielonych. Łąki i pastwiska nie zawsze mogą być przekształcane w grunty orne ze względów środowiskowych i technicznych. Gospodarstwa, które nie prowadzą produkcji zwierzęcej, dysponują nieproduktywnym arealem gruntów, które ulegają destrukcji wskutek zaniedbania. Biomasa pozyskana z tych gruntów może być racjonalnie zagospodarowana przez lokalne lub zawodowe przedsiębiorstwa energetyczne.

Badania przeprowadzone w jednej z gmin województwa lubelskiego wskazują, że przy obecnej strukturze zasiewów i pogłowiu zwierząt istnieje możliwość energetycznego wykorzystania 5,8 tys. ton słomy i ponad 1,1 tys. ton siana. Taka

ilość biomasy pozwala na uzyskanie niemal 78 tys. GJ energii, z uwzględnieniem 80% sprawności urządzeń energetycznych. Zastąpienie konwencjonalnych surowców biomasą o równoważnej wartości energetycznej wiąże się ze zmniejszeniem emisji zanieczyszczeń do środowiska, ożywieniem gospodarki na obszarach wiejskich, pozyskaniem nowych źródeł dochodów dla rolników, tworzeniem nowych miejsc pracy przy pozyskiwaniu i przetwarzaniu biomasy. O dalszym rozwoju rynku biomasy decydować będą regulacje prawne oraz działania podejmowane przez samorządy i przedsiębiorstwa.

Praca przygotowana w ramach projektu N0515/R/H03/2009/06 Uwarunkowania i mechanizmy racjonalizacji gospodarowania energią w gminach i powiatach, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.