

Piotr Gradziuk

Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu

Akademii Rolniczej w Lublinie

1090

Możliwości energetycznego wykorzystania słomy

Zapotrzebowanie świata na energię nieustannie rośnie. Problem zaspokajania potrzeb energetycznych jest więc stale aktualny. Obecnie światowe zapotrzebowanie na energię pokrywane jest w 80% głównie dzięki paliwom kopalnym (węgiel, ropa, gaz ziemny). Zasoby tych paliw, przy aktualnych trendach zużycia, według szacunków wystarczą na około 100 lat [3]. W ostatnim dwudziestoleciu, w wyniku kryzysu naftowego w latach siedemdziesiątych, zintensyfikowano badania nad wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Drugą przyczyną zainteresowania nauki i praktyki nowymi źródłami energii jest zwiększenie dbałości społeczeństw o środowisko naturalne. Obecnie 2/3 zanieczyszczeń wiąże się bowiem z wydobywaniem i spalaniem surowców energetycznych, a zwłaszcza węgla, podczas gdy odnawialne źródła energii przy racjonalnym wykorzystaniu zasadniczo mniej zanieczyszczają środowisko.

Za źródła energii odnawialnej najczęściej uważa się wodę, wiatr, Słońce, geotermię i biomasę. W strukturze światowego zużycia energia z tych źródeł stanowi około 17%, w Polsce zaledwie 2%. Prognozy przewidują, że do około 2010 roku w Polsce nastąpi zwiększenie zużycia energii ze źródeł odnawialnych do 8%. Podczas LXXXI Sesji Zgromadzenia Ogólnego PAN [7, 8], poświęconej problemom rozwoju energetyki, zwracano uwagę na możliwości wykorzystania dla potrzeb energetycznych surowców pochodzenia rolniczego. Znalazło to również potwierdzenie w Raporcie Komitetu Prognoz „Polska w XXI wieku” przy Prezydium PAN [4].

W rolnictwie i leśnictwie Polski rocznie wytwarzana jest biomasa równoważna pod względem kalorycznym 150 mln ton węgla [5]. W ostatnich latach coraz szerzej wykorzystywane jest drewno do ogrzewania domów, głównie na wsi, na obszarach o dużej lesistości. Ze względu na stosunkowo małe zalesienie kraju dalsze możliwości pozyskiwania energii tą drogą są ograniczone, chociaż prowadzone w wielu krajach badania wykazują, że można je zwiększyć poprzez wprowadzanie plantacji energetycznych. Znacznie większe możliwości pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych daje zagospodarowanie biomasy pochodzącej z rolnictwa. W celu łatwiejszego wykorzystania może być ona belowana, brykietowana, rozdrabniana, zgazowywana, upłynniana w odpowiednich procesach fizykochemicznych. Najważniejszą technologią pozyskiwania energii z biomasy jest produkcja biogazu z jednoczesną utyli-

zają odpadów rolniczych. Drugi kierunek to wykorzystanie biomasy do produkcji etanolu [10], który jest domieszką do benzyn, oraz wykorzystanie upraw roślin oleistych do produkcji oleju napędowego. Podstawową przeszkodą w szerszym zastosowaniu etanolu i biogazu jako paliwa są zbyt wysokie koszty ich pozyskiwania. Dlatego też poszukiwane są także inne możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne. Takim przykładem może być wykorzystanie słomy zbóż, rzepaku czy strączkowych do spalania w lokalnych kotłowniach.

Wartość opałowa słomy wynosi od 14,3 MJ/kg do 15,2 MJ/kg, przy wartości opałowej węgla od 18,8 MJ/kg do 29,3 MJ/kg. Pod względem energetycznym 1,5 tony słomy równoważna jest więc jednej tonie węgla kamiennego.

Bogate doświadczenia z wykorzystaniem słomy jako źródła energetycznego (paliwa) zgromadzono w Danii. Już w 1988 r. wykorzystanie słomy na cele energetyczne w tym kraju osiągnęło 16%, a w roku 1992 aż 55% całości produkcji. Może być ono jeszcze wyższe.

W Danii funkcjonuje około 12 000 małych i 40 dużych kotłowni opalanych słomą [9]. Tak znaczne wykorzystanie słomy na cele energetyczne wynika z niższych kosztów wytwarzania energii cieplnej niż w przypadku spalania węgla, gazu i oleju opałowego. Ponadto mniejsza jest emisja zanieczyszczeń w trakcie spalania słomy.

Tabela 1. Emisje chwilowe (maksymalne w g/s) oraz dobowe poszczególnych zanieczyszczeń w przypadku spalania węgla i słomy

Rodzaj emitowanej substancji	Kocioł na słomę		Kocioł węglowy	
	g/s	kg/dobę	g/s	kg/dobę
Dwutlenek siarki	0,0141	0,152	0,0476	4,104
Dwutlenek azotu	0,0077	0,083	0,0024	0,210
Tlenek węgla	0,2270	0,245	0,1340	11,544
Pyły ogółem	0,0290	0,312	0,0892	2,141

Źródło: Analiza porównawcza kotła „Pilewang Gizex-PM”, opalanego słomą, ze standardowym kotłem węglowym w zakresie oddziaływania na stan czystości powietrza atmosferycznego. P.U.H. „ATTMA” Poznań 1994 (maszynopis).

Dane zestawienie w tabeli 1 wskazują jednoznacznie na bardziej ekologiczny charakter kotła opalanego słomą w porównaniu z kotłem węglowym. Wynika to ze specyfiki pracy kotłów opalanych słomą, a mianowicie ze zdolności akumulowania ciepła powstałego w procesie spalania sprasowanej słomy, a następnie powolnym jego oddawaniu instalacji centralnego ogrzewania. Proces spalania słomy trwa około 1 godziny, po czym palenisko wygasa, a instalacja centralnego ogrzewania zasilana jest przez około 7 godzin ciepłem z wodnego zbiornika akumulacyjnego. Oznacza to, że eksploatacja kotła spalającego słomę wiąże się jedynie z trzygodzinnym czasem emisji zanieczyszczeń do atmosfery w ciągu doby. Energetyczne wykorzystanie

słomy może być interesującym kierunkiem pozyskiwania energii i ochrony środowiska. Skłoniło to do przeprowadzenia bilansu słomy i wskazania możliwości wykorzystania jej na cele energetyczne w naszym kraju.

Według „Małej Encyklopedii Rolniczej” słoma to „dojrzałe lub wysuszone źdźbła roślin zbożowych; określenia tego używa się również w stosunku do wysuszonych roślin strączkowych, lnu, rzepaku”. Podstawowym składnikiem słomy jest włókno surowe i związki bezazotowe wyciągowe. Ponadto charakteryzuje się wysoką zawartością suchej masy (około 85%), zdolnością do chłonięcia wody i gazów. Te czynniki decydują o kierunkach jej wykorzystania.

Słoma jest najczęściej używanym materiałem ściółkowym. Stosuje się ją w chowie wszystkich rodzajów zwierząt gospodarskich, zwłaszcza w gospodarstwach posiadających tradycyjne budynki inwentarskie. Ilość stosowanej ściółki jest różna. Zależy od rodzaju zwierząt (np. bydło potrzebuje jej więcej niż konie), jakości paszy, konstrukcji budynków (w oborach głębokich zużywa się znacznie więcej ściółki niż w oborach płytkich). Roczne zapotrzebowanie na słomę ściółkową zależy też od liczby dni przebywania zwierząt w pomieszczeniach.

Mimo niskiej wartości pokarmowej słoma stanowi często niezbędny składnik pasz, zwłaszcza dla bydła i owiec. Wypełniając przewód pokarmowy, stwarza poczucie sytości, uzupełnia suchą masę pasz soczystych, równoważy nadmiar białka. Słoma może być również dodawana do zakiszzonej masy roślinnej lub wysłodków buraczanych. Czynione są również próby uzdatniania słomy za pomocą ługu sodowego, amoniaku, mocznika, węglanu amonowego, kwasu siarkowego, drożdży.

Badania potwierdziły możliwość wykorzystania słomy jako nawozu poprzez jej przyorywanie bądź palenie. Nawożenie słomą stosuje się zazwyczaj dlatego, że takie zabiegi jak zbiór, transport i przechowywanie są bardzo pracochłonne i kosztowne [1]. Ponadto słoma jest używana do przykrywania kopców, przygotowywania mat w gospodarstwach ogrodniczych, ocieplania budynków. Ogólne zapotrzebowanie na słomę w rolnictwie stanowi suma słomy ściółkowej i paszowej oraz słomy do okrywania ziemiopłodów i przeznaczonej na inne cele. Potwierdzają to badania IUNG, z których wynika, że około 58% zbieranej słomy używana jest na ściółkę, 36% na paszę, a 6% na inne cele [2, 6]. Można więc wnosić, że na cele energetyczne mogą być przeznaczone tylko nadwyżki słomy, pozostające po zaspokojeniu potrzeb produkcji zwierzęcej.

Produkcja i bilans słomy

Na produkcję słomy wpływa wiele czynników. Do najważniejszych należy zaliczyć: powierzchnię uprawy roślin, których produktem ubocznym jest słoma, plony, gatunek rośliny, odmiana, nawożenie, przebieg pogody itd. Przy tym należy zwrócić uwagę, że wprowadzone do uprawy nowe odmiany, przede wszystkim zbóż, są sztywno- i krótkosłome. Wskutek tego stosunek plonu słomy do plonu ziarna

Tabela 2. Powierzchnia zasiewów oraz zbiory słomy zbóż, oleistych oraz strączkowych jadalnych w rolnictwie ogółem w latach 1975–1993

Lata	4 zboża z mieszankami		Oleiste		Strączkowe jadalne		Razem	
	tys. ha	tys. t	tys. ha	tys. t	tys. ha	tys. t	tys. ha	tys. t
1975	7849,3	25147	309,0	1379	37,9	548	8196,2	27074
1976	7716,2	26554	397,6	1892	36,7	483	8150,5	28929
1977	7944,5	21157	399,6	1370	42,4	431	8386,5	22958
1978	7819,7	24465	336,7	1357	50,5	529	8206,9	26351
1979	7825,1	17422	180,0	488	63,6	449	8068,7	18360
1980	7830,2	21606	319,8	1108	69,8	428	8219,8	23142
1981	7890,9	22377	277,3	960	56,1	431	8224,3	23768
1982	8078,1	20923	258,4	846	31,5	466	8368,0	22235
1983	8090,1	24407	247,0	1077	34,6	677	8371,7	26161
1984	8144,1	30457	395,6	1775	49,7	865	8589,4	33097
1985	8189,0	28688	467,0	2056	55,9	918	8711,9	31662
1986	8215,5	29321	514,9	2478	49,6	995	8780,0	32794
1987	8351,0	29106	498,6	2265	48,3	1076	8897,9	32447
1988	8399,0	28092	470,5	2291	54,0	1187	8923,5	31570
1989	8325,5	27558	570,0	3034	62,7	1292	8958,2	31884
1990	8741,8	28444	500,4	2343	52,4	1279	9024,6	32566
1991	8645,1	24986	467,8	2008	55,7	1428	9168,6	28422
1992	8265,1	18177	417,1	1461	66,2	798	8748,4	20436
1993	8506,0	20880	363,0	1140	54,0	1103	8923,0	22540

Źródło: Obliczenia własne na podstawie opracowań statystycznych GUS z lat 1975–1994.

zmniejsza się. Wyniki opracowane na podstawie doświadczeń COBORU w latach 1956–1978 wykazały spadek tego stosunku od około 4%, w przypadku owsa, do 27% – dla pszenicy. Wprowadzenie do uprawy krótkosłomych odmian zbóż nie spowodowało zmniejszenia plonów słomy, a wprost przeciwnie – nastąpił 20-procentowy wzrost, podczas gdy plony ziarna zbóż zwiększyły się o około 50%.

Produkcję słomy w rolnictwie ogółem w latach 1975–1993 przedstawiono w tabeli 2. Źródłem danych o zbiorach słomy zbóż były opracowania statystyczne GUS za lata 1975–1993, dotyczące produkcji głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodniczych. W materiałach tych brak jest jednak danych o zbiorach słomy roślin oleistych i strączkowych, dlatego też zachodziła potrzeba doszacowania. Produkcja słomy tych roślin została obliczona na podstawie zbiorów nasion. Przyjęto następujące wielkości współczynników stosunku słomy do nasion:

oleiste – 1,9

strączkowe – 2,1.

Tabela 3. Normatywy rocznego zapotrzebowania słomy na paszę i ściółkę [t]

Wyszczególnienie	Pasze	Ściółka
Bydło:		
od 6 miesięcy do 1 roku	0,4	0,4
powyżej 1 roku	0,9	0,6
krowy	1,2	1,0
Trzoda chlewna:		
warchlaki od 3 do 6 miesięcy	–	0,2
tuczniaki	–	0,2
lochy	–	0,5
Owce	0,2	0,2
Konie:		
do 3 lat	0,8	0,8
powyżej 3 lat	0,8	1,0

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

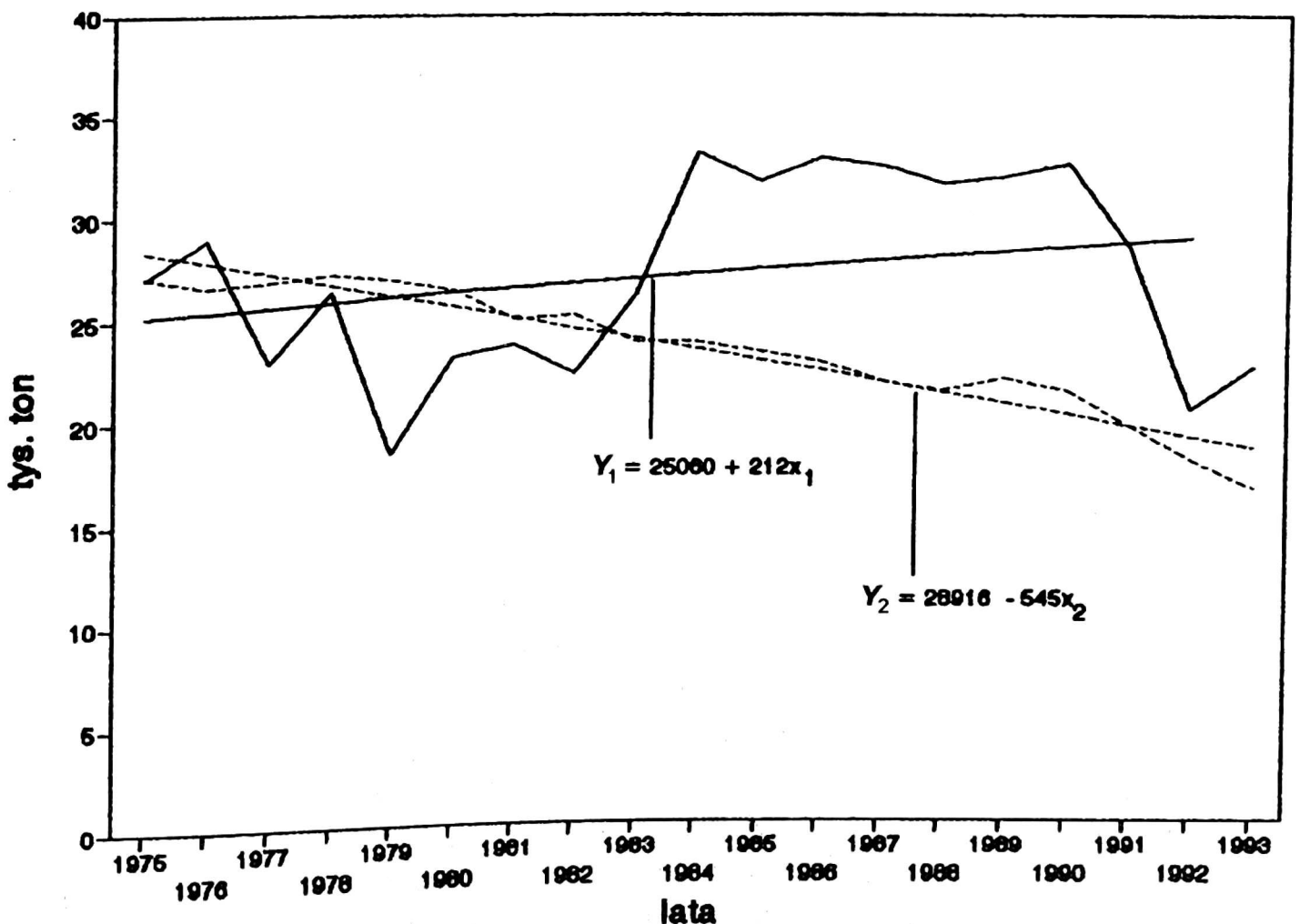
**Rysunek 1.** Trendy zbiorów (Y_1) i zapotrzebowania (Y_2) na słomę w latach 1975–1993

Tabela 4. Stan pogłowia zwierząt gospodarskich oraz zapotrzebowanie słomy na ściółkę i paszę w rolnictwie ogółem w latach 1975–1993

Lata	Pogłowie zwierząt [tys. sztuk fizycznych]				Zapotrzebowanie słomy [tys. t]			Saldo
	bydło	owce	konie	trzoda chlewna	pasze	ścióły	razem	
1975	13254	3175	2237	21311	12751	14405	27156	-82
1976	12879	3430	2151	18847	12663	13998	26661	2268
1977	13019	3934	2062	20051	12668	14170	26838	-3880
1978	13115	4248	1891	21717	12726	14525	27251	-900
1979	13036	4222	1856	21224	12585	14350	26935	-8575
1980	12649	4207	1780	21326	12294	14159	26453	-3311
1981	11796	3881	1726	18479	11729	13199	24928	-1160
1982	11912	3899	1734	19471	11859	13332	25191	-2956
1983	11269	4104	1600	15587	11405	12449	23854	2307
1984	11197	4534	1537	16657	11328	12521	23849	9248
1985	11055	4837	1404	17614	10967	12345	23312	8350
1986	10919	4991	1272	18948	10635	12198	22833	9961
1987	10523	4739	1141	18546	10126	11715	21841	10606
1988	10322	4377	1051	19605	9793	11518	21311	10265
1989	10733	4409	973	18835	10224	11768	21992	9892
1990	10049	4159	941	19464	9828	11523	21351	11215
1991	8844	3234	939	21868	8758	10910	19668	8754
1992	8221	1870	900	22086	7827	10126	17953	2483
1993	7643	1268	841	18860	7408	9154	16562	5978

Źródło: Obliczenia własne na podstawie opracowań statystycznych GUS za lata 1975–1994.

Doświadczenia ostatnich 19 lat wskazują na znaczne wahania produkcji słomy – od 18360 tys. ton w 1979 roku do 33097 tys. ton w 1984 roku, przy średniej wynoszącej 27179 tys. ton. Analiza powyższych danych liczbowych pozwala stwierdzić, iż dynamika kształtowania się zbiorów słomy przedstawia się dość korzystnie. Tempo jej wzrostu, wyrażone współczynnikiem trendu, osiągnęło wielkość 198 tys. ton rocznie. Podstawowym czynnikiem kształtującym tendencje produkcji słomy była powierzchnia zasiewów zbóż, oleistych i strączkowych. W omawianym okresie udział tych roślin w strukturze zasiewów zwiększył się o 10,6%, tj. z 55,9% w 1975 do 66,5% w 1993 roku, w tym zbóż z 53,5% do 63,4%. W strukturze produkcji dominuje słoma zbóż (92,6%). Słoma oleistych i strączkowych stanowiła odpowiednio 5,1% i 2,3% ogółu zbiorów słomy.

Produkcja słomy, wynosząca średnio 27,2 mln ton rocznie, jest równoważna z około 18 mln węgla (a więc 454 PJ)*.

Wykorzystanie całości słomy na cele energetyczne w 1990 roku pozwoliłoby na pokrycie w 10% zapotrzebowania na energię pierwotną w naszym kraju.

Aby ocenić realne możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne, należy uwzględnić potrzebę jej zużycia w rolnictwie. Dotychczasowe badania wykazały, że zasoby słomy w 95% wykorzystywane są w produkcji zwierzęcej, dlatego też w naszych badaniach zapotrzebowanie słomy dla celów rolniczych zostało obliczone w na podstawie normatywów potrzeb paszowych i zużycia słomy na ściólkę (tab. 3). Źródłem danych liczbowych dotyczących pogłównia zwierząt były wyniki spisów rolniczych, publikowane przez GUS. Tak obliczone zapotrzebowanie przedstawiono w tabeli 4. W badanym okresie występował systematyczny spadek zapotrzebowania na słomę. Obliczona funkcja trendu wykazała, że spadek ten wynosił 545 tys. ton średniorocznie (rys. 1). Zmniejszeniu ulegało zarówno zapotrzebowanie słomy na cele paszowe, jak i ściólkę. Było to wynikiem znacznego obniżenia stanu pogłównia zwierząt, w tym przede wszystkim bydła o 42,3%, koni o 62,4% oraz owiec o 60%. Od 1983 roku zbiory słomy zaczęły przewyższać zapotrzebowanie wynikające z produkcji zwierzęcej. W 1990 roku nadwyżki te przekroczyły 11 mln ton, a w latach 1983–1993 średnia roczna nadprodukcja słomy wynosiła 8096 tys. ton, co równoważne jest 5397 tys. ton węgla średniej jakości. Wykorzystanie tych nadwyżek pozwoliłoby pokryć w 3% (136,1 PJ) zapotrzebowanie Polski na energię pierwotną.

Do tej pory nadwyżki słomy wykorzystywane są przede wszystkim na cele nawozowe. Nawożenie słomą nie jest zabiegiem tanim, ponieważ wymaga bardzo starannych, terminowych zabiegów agrotechnicznych oraz pocięcia słomy na siewkę długości 6–10 cm i równomiernego rozrzucenia na polu. W niepomyślnych warunkach termicznych i wilgotnościowych przyorywana słoma może powodować obniżkę plonów. Również palenie słomy nie okazało się tanim sposobem stosowania jej jako nawozu. W RFN stwierdzono, że przyoranie spalonej słomy wymaga zbliżonych nakładów pieniężnych jak takie samo użycie słomy rozdrobnionej, ale jest czynnością znacznie bardziej pracochłonną. Duża różnica w nakładach pracy wynika stąd, że palenie słomy na polu musi być wykonane zgodnie z odpowiednimi przepisami. W takich państwach, jak Austria czy Dania, gospodarstwa, które mają mało inwentarza, a wysoką produkcję zbóż i rzepaku, nadwyżki słomy zużywane są jako materiał grzewczy, co oznacza zaoszczędzony wydatek na zakup węgla, gazu lub innego rodzaju opału.

Wykorzystanie słomy z powierzchni jednego hektara uprawy zbóż na cele opałowe (średni plon 29,1 dt/ha), przy cenie węgla wynoszącej 1709 tys. zł/t (Mały

* 1 PJ = 10¹⁵J.

Rocznik Statystyczny GUS 1974), pozwoliłoby zaoszczędzić kwotę 2,5 mln zł. Środki te przeznaczone na zakup nawozów mineralnych (równowartość 954 kg mocznika) pozwalają na pozyskanie do gospodarstwa składników przyswajalnych przez rośliny, przewyższających wielokrotnie wartość nawozową słomy.

Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że słoma może stanowić w Polsce poważne źródło energii odnawialnej pochodzącej z biomasy. Zakładając, że tendencje w produkcji i zapotrzebowaniu zostaną utrzymane, można stwierdzić, iż w 2000 roku słoma mogłaby dostarczyć 237 PJ energii, to jest w 5% pokryć zapotrzebowanie gospodarki narodowej. Ponadto, zastąpienie konwencjonalnych źródeł energii słomą obniżyłoby skażenie środowiska (utylicacja popiołu, żużla, pyłów i gazów ze spalania węgla) oraz zmniejszyło koszty zakupu opału przez gospodarstwa rolne.

Literatura

- [1] Buhtz E., Lubisch H., Lubadel O.A. 1976. Hohe bei der Strohdungung durch zweckmassige Verteileinrichtungen und sachgemasse Eibringung. *Feldwirtschaf* 17(6): 261–264.
- [2] Chwećko L. 1979. Czynniki kształtujące rynek słomy i siana w makroregionie środkowo-wschodnim. MIEiOR AR Lublin (maszynopis – praca doktorska).
- [3] Hall D.O., Grot P. J. 1987. Introduction: The biomass framework. In: D.O.Hall, R.P. Overend (EDS) Biomass regenerable energy. Wiley a. Sons, Chichester: 3–24.
- [4] Komitet Prognoz „Polska w XXI wieku” przy Prezydium PAN. 1993. Raport o potrzebie strategicznej koncepcji rozwoju Polski i roli nauki w przebudowie gospodarki. Warszawa.
- [5] Kowalik P. 1994. Potencjalne możliwości energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce. *Gospodarka Paliwami i Energią* 3: 9–12.
- [6] Kozakiewicz J., Nieścior E. 1984. Słoma i sposoby jej użytkowania w gospodarstwach rolniczych. IUNG, Puławy.
- [7] Marecki J. 1994. Kierunki rozwoju energetyki i wykorzystanie energii. *Nauka* 3: 3–16.
- [8] Ney R. 1994. Energia odnawialna. *Nauka* 3: 43–66.
- [9] Rasmussen B. 1990. Ein Blick uber die Grenzen: Regenerative Energien in Danemark. *Energie/Abfall, UMWELT messe'90*. Innova GmbH: 86–124.
- [10] Rogalski J., Jamroz J. 1994. Potencjalne możliwości wykorzystania surowców ligninocelulozowych. *Post. Nauk Roln.* 1: 3–14.

Potential possibilities of utilization of straw in energy production

Summary

Each year in Poland a quantity of biomass from forestry and farm production equivalent to 150 million tons of coal is obtained. An extremely high energetic value is yielded by rye, rapeseed and pulse straw whose average yearly yield – about 27,2 mln tons – is equivalent to 18 mln tons of coal (454 PJ).

The possibilities of straw utilization for power-producing purposes are limited only by the needs of animal production. Research has shown however, that since 1983 the production of straw has exceeded these needs. If these tendencies persist, then in the year 2000 we could get from straw about 237 PJ of energy, covering about 5 percent of our national economy needs.