

WARTOŚĆ ENERGETYCZNA ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA I PŁONU BURAKA CUKROWEGO*

Danuta Buraczyńska, Feliks Ceglarek

Streszczenie. W pracy określono nakłady energetyczne poniesione na stosowanie pod burak cukrowy nawozów organicznych (obornika, całej masy i resztek poźniwnych wsiewek międzyplonowych) i mineralnych (400, 600 kg NPK·ha⁻¹). Obliczono wartość energetyczną plonu wsiewek międzyplonowych przeznaczonych na paszę, wartość energetyczną plonu korzeni i liści buraka cukrowego oraz wskaźnik efektywności energetycznej. Największe nakłady energetyczne stwierdzono w kombinacji nawożonej resztkami poźniwnymi zycicy wielokwiatowej. Zastosowanie pod burak cukrowy całej biomasy lucerny chmielowej i jej resztek poźniwnych, w odniesieniu do obornika, zmniejszyło nakłady energetyczne na 1ha odpowiednio o 59,99 i 41,67%. Wzrost poziomu nawożenia mineralnego NPK zwiększał nakłady energetyczne i wartość energetyczną plonu, a zmniejszał wskaźnik efektywności energetycznej. Wartość energetyczna plonu buraka cukrowego była największa na obiekcie nawożonym całą biomasa mieszanki lucerny chmielowej z zycią wielokwiatową, jak i całą biomasa lucerny chmielowej oraz dawką 600 kg NPK·ha⁻¹. Największy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano w kombinacji nawożonej całą biomasa lucerny chmielowej.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, nawożenie organiczne, nawożenie mineralne, nakłady energetyczne, wartość energetyczna plonu, wskaźnik efektywności energetycznej

WSTĘP

Produkcja buraka cukrowego należy do najbardziej energochłonnych technologii produkcji roślinnej [Kuś i in. 1988, Gutmański 1992, Sęk i Przybył 1993]. Wyższe zużycie energii w uprawie tego gatunku niż innych gatunków roślin rolniczych wynika z większego zaangażowania maszyn i urządzeń, a także wyższego poziomu nawożenia i nakładu pracy ludzkiej [Wielicki 1986a, Gutmański 1992]. Zastąpienie nawozu naturalnego (obornika) nawozami zielonymi, przy utrzymaniu plonowania buraka cukrowego na podobnym poziomie, może przyczynić się do wyraźnego obniżenia nakładów energetycznych na jego produkcję [Gutmański 1992, 1996, Zimny i Krzyśków 1996, Zimny i Kordas 1997, Gutmański i in. 1999]. Jednocześnie stosowanie racjonalnego płodozmianu, uprawy roli i odpowiedniego nawożenia mineralnego może zapewnić utrzymanie wysokiej żyzności gleby i plonowania, a tym samym zmniejszenie energo-

* Pracę wykonano w ramach projektu nr 5 PO6B 014 09 finansowanego przez KBN

chłonności produkcji roślinnej [Nowacki 1985, Gutmański 1992, 1996, Sęk i Przybył 1993, Malicki i in. 1994, Zimny i Krzyśków 1996, Zimny i Kordas 1997, Kordas 1999].

Minimalizowanie nakładów w uprawie buraka cukrowego, zmniejszająca się produkcja naturalnego nawozu organicznego powszechnie stosowanego pod buraki, a także nieliczne prace badawcze nad znaczeniem wsiewek międzyplonowych w uprawie buraka cukrowego skłoniły autorów do dokonania bilansu energetycznego wynikającego z formy nawozu organicznego i poziomu nawożenia mineralnego oraz wielkości uzyskanego plonu energii w biomase.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 1992-1996 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Zawadach, należącym do Akademii Podlaskiej w Siedlcach, na glebie typu czarna ziemia wytworzona z gliny piaszczystej, kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego, klasy bonitacyjnej IIIb, o odczynie obojętnym, średniej zasobności w fosfor i magnez przyswajalny, niskiej w potas.

Schemat doświadczenia założonego metodą split-plot w trzech powtórzeniach, o powierzchni poletka do zbioru 21,6 m², uwzględniał dwa czynniki:

- formę nawozu organicznego: obiekt kontrolny (bez nawożenia organicznego), obornik, całą masę następujących wsiewek międzyplonowych: lucerny chmielowej, życicy wielokwiatowej, lucerny chmielowej + życicy wielokwiatowej oraz tylko ich resztki poźniwne;
- poziom nawożenia mineralnego NPK: 0 (bez nawożenia), 400 kg·ha⁻¹ (130 N, 100 P₂O₅, 170 K₂O), 600 kg·ha⁻¹ (195 N, 150 P₂O₅, 255 K₂O).

Rośliną ochronną dla wsiewek międzyplonowych był jęczmień jary uprawiany na zieloną masę. Ilość wysiewu nasion roślin międzyplonowych wynosiła: lucerny chmielowej – 20 kg·ha⁻¹, życicy wielokwiatowej – 30 kg·ha⁻¹, mieszanki lucerny chmielowej z życicą wielokwiatową – 10 + 15 kg·ha⁻¹. Jęczmień jary zebrano w połowie czerwca. Zbioru pierwszego pokosu wsiewek, przeznaczonego na paszę, dokonano w drugiej dekadzie sierpnia. Drugi pokos wsiewek międzyplonowych, w zależności od badanej kombinacji formy nawozu organicznego, przeznaczono na paszę lub nawóz zielony. Przed przyoraniem biomasy wsiewek międzyplonowych i ich resztek poźniwnych wykonano talerzowanie. Po zbiorze jęczmienia jarego oraz pierwszego pokosu wsiewek zastosowano nawozy azotowe w ilości 80 kg N·ha⁻¹ pod życicę wielokwiatową i 50 kg N·ha⁻¹ pod mieszankę lucerny chmielowej z życicą wielokwiatową. W trzeciej dekadzie października wykonano orkę przedzimową z zastosowaniem 30 t·ha⁻¹ obornika bydlęcego oraz nawozów zielonych z wsiewek międzyplonowych.

Szczegółowy opis doświadczenia, wartość nawozową obornika i międzyplonów oraz plon buraka cukrowego przedstawiono we wcześniejszej publikacji [Buraczyńska i Ceglarek 2002]. W poniższym opracowaniu porównano nakłady energetyczne poniesione na stosowane pod burak cukrowy nawozy organiczne i mineralne. Analizie poddano tylko elementy różnicujące oceniane formy nawozu organicznego i poziomy nawożenia mineralnego. Wielkość nakładów energetycznych określono na podstawie stosowanych w doświadczeniu technologii. W nakładach energetycznych uwzględniono cztery strumienie energii: bezpośrednie nośniki energii (paliwo), surowce i materiały (obornik, nawozy mineralne, nasiona międzyplonów), środki inwestycyjne (zużycie

maszyn i narzędzi rolniczych w czasie eksploatacji), pracę ludzką [Wójcicki 1979, 1981, Wielicki 1986b, 1988, Terlikowski i Zdrojewski 1989, Kuś i in. 1990]. Przy obliczaniu nakładów energetycznych zastosowano następujące przeliczniki: paliwa płynne (1 kg) – 52 MJ, obornik (1 t) – 200 MJ, nasiona lucerny chmielowej i życicy wielokwiatowej (1 kg) – 30 MJ, nawozy mineralne w czystym składniku (1 kg) N – 70 MJ, P₂O₅ – 15 MJ, K₂O – 10 MJ, ciągniki i maszyny rolnicze (1 kg) – 110 MJ, praca ludzka (1 rbh) – 7 MJ [Wójcicki 1979, 1981, Zaremba 1985]. W badaniach wzięto pod uwagę nakłady energetyczne poniesione na następujące czynności i zabiegi: załadunek obornika, nawozów mineralnych i nasion, transport na odległość 1 km, roztrzaskanie obornika, wysiew nawozów mineralnych (po zbiorze jęczmienia, pierwszego pokosu wsiewek i pod burak cukrowy), siew nasion roślin międzyplonowych, koszenie i zbiór międzyplonu zużytego na paszę, talerzowanie masy organicznej międzyplonu.

Wartość energetyczną uzyskanego plonu wsiewek przeznaczonych na paszę i buraka cukrowego obliczono z wartości pokarmowej zielonki roślin międzyplonowych oraz świeżych korzeni i liści buraka cukrowego, przyjmując następujące przeliczniki: 1 kg korzeni = 4,3 MJ, 1 kg liści = 2,7 MJ, 1 kg lucerny, trawy i mieszanki lucerny z trawą w fazie początku kwitnienia = 4,0 MJ [Ziołocka i in. 1979]. Wskaźnik efektywności energetycznej, jako stosunek energii uzyskanej w plonie do nakładów energii poniesionych w procesie produkcji [Czyż i in. 1995], obliczono dzieląc wartość energetyczną plonu korzeni i liści buraka cukrowego przez wartość energetyczną nakładów wydatkowanych na nawożenie. Analogiczną metodę obliczenia wskaźnika efektywności energetycznej, ale przy różnych systemach uprawy roli, przyjął Czyż i in. [1995], Dzieńia i Piskier [1999] oraz Kordas [1999].

Wyniki badań dotyczące łącznych nakładów energetycznych na formę nawozu organicznego i poziom nawożenia mineralnego oraz wartości energetycznej plonu korzeni i liści buraka cukrowego opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, a istotność różnic między średnimi sprawdzono testem Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI

Oceniane formy nawożenia organicznego charakteryzowały się zróżnicowanymi nakładami energetycznymi (tab. 1). Największe nakłady energetyczne poniesiono na stosowanie pod burak cukrowy resztek poźniwnych życicy wielokwiatowej, a najmniejsze – na nawożenie całą biomasą lucerny chmielowej. Nawożenie buraka cukrowego resztkami poźniwnymi wsiewek międzyplonowych, w porównaniu z całą biomasą wsiewek, zwiększyło istotnie nakłady energetyczne (średnio o 1708,03 MJ·ha⁻¹, tj. 16,07%). Nakłady energetyczne na nawożenie buraka cukrowego całą biomasą i resztkami poźniwnymi lucerny chmielowej były istotnie mniejsze (odpowiednio o 5291,16 i 3675,16 MJ·ha⁻¹, tj. 59,99 i 41,67%) od nakładów poniesionych na nawożenie obornikiem. Natomiast stosowanie pod burak cukrowy całej biomasy życicy wielokwiatowej i mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową, a także ich resztek poźniwnych, w odniesieniu do nawożenia obornikiem, przyczyniło się do istotnego wzrostu nakładów energetycznych, od 2961,91 do 9152,01 MJ·ha⁻¹. W kombinacjach nawożonych całą masą i resztkami poźniwnymi lucerny chmielowej największą pozycję w strukturze nakładów energetycznych stanowiły nośniki energii (tab. 1). Z kolei na obiektach nawożonych obornikiem, całą biomasą życicy wielokwiatowej i mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową oraz ich resztkami poźniwnymi największy

udział w strukturze nakładów energetycznych miały surowce i materiały. Dawka 30 t obornika stanowiła równoważnik 6000 MJ, tj. 68,02% nakładów poniesionych na jego stosowanie. We wszystkich kombinacjach nawożenia organicznego praca ludzka stanowiła znikomą pozycję nakładów energetycznych (0,63-2,45%). Były one większe w obiekcie z obornikiem niż w kombinacjach z całą biomasa wsiewek międzyplonowych (od 24,50 do 56,00 MJ·ha⁻¹), a mniejsze niż w kombinacji z resztkami poźniwnymi życicy wielokwiatowej (o 41,50 MJ·ha⁻¹) i mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową (o 31,5 MJ·ha⁻¹).

Zwiększenie poziomu nawożenia mineralnego z 400 do 600 kg NPK·ha⁻¹ wpłynęło na wzrost nakładów energetycznych o 6304,30 MJ·ha⁻¹, tj. o 48,68% (tab. 2). Nawozy mineralne stanowią bowiem istotną pozycję w strukturze nakładów energetycznych.

Uzyskane wyniki wskazują, że stosowanie pod burak cukrowy łącznego nawożenia organiczno-mineralnego znacznie różnicuje nakłady energetyczne (tab. 3). W badaniach autorów największe nakłady na 1 ha, jak i na wyprodukowanie 1 t korzeni buraka cukrowego poniesiono w kombinacji nawożonej resztkami poźniwnymi życicy wielokwiatowej i 600 kg NPK·ha⁻¹. W odniesieniu do obornika, nawożenie buraka cukrowego całą masą lucerny chmielowej pozwala zmniejszyć nakłady energetyczne o 24,30 % na 1 ha w kombinacjach z 400 kg NPK·ha⁻¹ i o 18,85 % na 1 ha na obiektach z 600 kg NPK·ha⁻¹. Na oszczędność energii wpływa również stosowanie (zamiast obornika) resztek poźniwnych lucerny chmielowej: w połączeniu z dawką 400 kg NPK·ha⁻¹ – o 16,88%, a przy dawce 600 kg NPK·ha⁻¹ – o 13,09%. Natomiast nawożenie buraka cukrowego całą biomasa życicy wielokwiatowej i mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową oraz ich resztkami poźniwnymi (w porównaniu z obornikiem) zwiększa nakłady energetyczne: o 13,61-42,04 % na 1 ha i o 9,74-47,90% na 1 t korzeni na obiektach z 400 kg NPK·ha⁻¹ oraz o 10,55-32,60% na 1 ha i o 6,96-40,55% na 1 t korzeni w kombinacjach z 600 kg NPK·ha⁻¹.

Uzyskane wyniki wykazały, że nakłady energetyczne poniesione na 1 ha i na 1 t korzeni buraka cukrowego w kombinacjach z resztkami poźniwnymi wsiewek międzyplonowych są większe niż na obiektach z całą biomasa tych wsiewek (tab. 3). Jednak stosowanie pod burak cukrowy resztek poźniwnych wsiewek międzyplonowych pozwala uzyskać z pierwszego i drugiego pokosu łącznie 24,8-35,6 t·ha⁻¹ zielonki o wartości energetycznej równej 99200-142400 MJ·ha⁻¹ (tab. 4). Nawożąc burak cukrowy całą biomasa drugiego pokosu wsiewek międzyplonowych otrzymujemy tylko 11,7-17,3 t·ha⁻¹ zielonej paszy z pierwszego pokosu – o wartości energetycznej 46800-69200 MJ·ha⁻¹.

Nawożenie organiczne i mineralne istotnie różnicowało wartość energetyczną plonu korzeni i liści buraka cukrowego (tab. 5). Wartość energetyczna plonu korzeni z kombinacji nawożonej całą biomasa mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową oraz plonu liści z obiektu z całą masą mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową i lucerny chmielowej, w odniesieniu do obornika, była istotnie większa. Nawożenie buraka cukrowego dawką 400 kg NPK·ha⁻¹, w porównaniu z obiektem bez nawożenia mineralnego, zwiększyło istotnie całkowitą wartość energetyczną plonu buraka cukrowego, średnio o 59835 MJ·ha⁻¹, tj. 26,53%. Zwiększenie dawki z 400 do 600 kg NPK·ha⁻¹ spowodowało wzrost wartości energetycznej plonu średnio o 16353 MJ·ha⁻¹, tj. 5,73%. Całkowita wartość energetyczna plonu buraka cukrowego była największa w kombinacji nawożonej całą biomasa mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową, jak i lucerny chmielowej oraz dawką 600 kg NPK·ha⁻¹.

Tabela 1. Nakłady energetyczne na formę nawozu organicznego i ich struktura
 Table 1. Energy inputs for respective organic fertiliser forms and their structure

Forma nawozu organicznego Organic fertiliser form	Nakłady energetyczne Energy inputs MJ·ha ⁻¹				Struktura nakładów energetycznych Structure of energy inputs %				
	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	Surowce i materiały Raw materials and materials	Środki inwestycyjne Investments	Praca ludzka Human labour	Łącznie Total	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	Surowce i materiały Raw materials and materials	Środki inwestycyjne Investments	Praca ludzka Human labour
Obornik – Farmyard manure	2600,00	6000,00	94,36	126,00	8820,36	29,48	68,02	1,07	1,43
Cała masa roślinna – Total plant biomass:									
Lucerna chmielowa – Hop medick	2340,00	600,00	519,20	70,00	3529,20	66,30	17,00	14,71	1,99
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	3328,00	12100,00	661,07	101,50	16190,57	20,56	74,73	4,08	0,63
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	3276,00	7750,00	661,07	95,20	11782,27	27,80	65,78	5,61	0,81
Resztki poźniwne – Post-harvest residue:									
Lucerna chmielowa – Hop medick	3900,00	600,00	519,20	126,00	5145,20	75,80	11,66	10,09	2,45
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	5044,00	12100,00	661,07	167,50	17972,37	28,06	67,33	3,68	0,93
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	4940,00	7750,00	661,07	157,50	13508,57	36,57	57,37	4,89	1,17
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	–	–	–	–	872,31	–	–	–	–

Tabela 2. Nakłady energetyczne na poziomy nawożenia mineralnego i ich struktura
 Table 2. Energy inputs for respective mineral fertilisation levels and their structure

Poziom nawożenia mineralnego Level of mineral fertilisation kg NPK·ha ⁻¹	Nakłady energetyczne Energy inputs MJ·ha ⁻¹					Struktura nakładów energetycznych Structure of energy inputs %			
	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	Surowce i materiały Raw materials and materials	Środki inwestycyjne Investments	Praca ludzka Human labour	Łącznie Total	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	Surowce i materiały Raw materials and materials	Środki inwestycyjne Investments	Praca ludzka Human labour
400	572,00	12300,00	64,37	14,00	12950,37	4,41	94,98	0,50	0,11
600	722,80	18450,00	64,37	17,50	19254,67	3,75	95,82	0,34	0,09
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	–	–	–	–	956,05	–	–	–	–

Tabela 3. Nakłady energetyczne w porównywanych kombinacjach nawozowych
 Table 3. Energy inputs in the fertilisation combinations compared

Forma nawozu organicznego Organic fertiliser form	Nakłady energetyczne – Energy inputs					
	MJ·ha ⁻¹			MJ·t ⁻¹ korzeni – MJ·t ⁻¹ of roots		
	Poziom nawożenia mineralnego – Level of mineral fertilisation kg NPK·ha ⁻¹					
	0	400	600	0	400	600
Obiekt kontrolny – Control	–	12950,37	19254,67	–	306,88	446,74
Obornik – Farmyard manure	8820,36	21770,73	28075,03	233,34	479,53	588,58
Cała masa roślinna – Total plant biomass:						
Lucerna chmielowa – Hop medick	3529,20	16479,57	22783,87	91,43	356,70	470,74
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	16190,57	29140,94	35445,24	442,37	654,85	760,63
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	11782,27	24732,64	31036,94	295,29	526,23	629,55
Resztki poźniwne – Post-harvest residue:						
Lucerna chmielowa – Hop medick	5145,20	18095,57	24399,87	145,76	414,09	538,63
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	17972,37	30922,74	37227,04	520,94	709,24	827,27
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	13508,57	26458,94	32763,24	372,14	595,92	709,16

Tabela 4. Plon świeżej masy wsiewek międzyplonowych przeznaczonych na paszę i jego wartość energetyczna
 Table 4. Fresh matter yield of feed undersown catch crop and its energy value

Forma nawozu organicznego Form of organic fertiliser	Plon świeżej masy Yield of fresh matter t·ha ⁻¹			Wartość energetyczna plonu Yield energy value MJ·ha ⁻¹		
	I pokos cut I	II pokos cut II	Razem Total	I pokos cut I	II pokos cut II	Razem Total
Cała masa roślinna – Total plant biomass:						
Lucerna chmielowa – Hop medick	11,7	–	11,7	46800	–	46800
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	17,3	–	17,3	69200	–	69200
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	15,7	–	15,7	62800	–	62800
Resztki późniwne – Post-harvest residue:						
Lucerna chmielowa – Hop medick	11,5	13,3	24,8	46000	53200	99200
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	17,5	18,1	35,6	70000	72400	142400
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	15,6	16,8	32,4	62400	67200	129600

Tabela 5. Wartość energetyczna plonu korzeni i liści buraka cukrowego, MJ·ha⁻¹
 Table 5. Sugar-beet root-and-leaf yield energy value, MJ·ha⁻¹

Forma nawozu organicznego Form of organic fertiliser	Wartość energetyczna plonu korzeni Root yield energy value				Wartość energetyczna plonu liści Leaf yield energy value				Razem Total			
	Poziom nawożenia mineralnego – Level of mineral fertilisation kg NPK·ha ⁻¹											
	0	400	600	średnia mean	0	400	600	średnia mean	0	400	600	średnia mean
Obiekt kontrolny – Control	136310	181460	185330	167700	52380	81000	86670	73350	188690	262460	272000	241050
Obornik – Farmyard manure	162540	195220	205110	187623	70200	92610	103140	88650	232740	287830	308250	276273
Cała masa roślinna: Total plant biomass:												
Lucerna chmielowa – Hop medick	165980	198660	208120	190920	78840	100980	109620	96480	244820	299640	317740	287400
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	157380	191350	200380	183037	68580	93150	102060	87930	225960	284500	302440	270967
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	171570	202100	211990	195220	82620	104220	113400	100080	254190	306320	325390	295300
Resztki poźniwne: Post-harvest residue:												
Lucerna chmielowa – Hop medick	151790	187910	194790	178163	66420	91260	99900	85860	218210	279170	294690	264023
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	148350	187480	193500	176443	62640	89370	96930	82980	210990	276850	290430	259423
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	156090	190920	198660	181890	72630	95310	104220	90720	228720	286230	302880	272610
Średnia – Mean	156251	191888	199735	–	69289	93488	101993	–	225540	285375	301728	–
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:												
formy nawozu organicznego – organic fertiliser form (A)				7486				3968				11906
poziomu nawożenia mineralnego – mineral fertilisation level (B)				6382				2904				9742
interakcji – interaction												
A x B				8780				4750				14080

Wartość wskaźnika efektywności energetycznej w kombinacjach z całą biomasa i resztkami poźniwnymi lucerny chmielowej, na każdym z poziomów nawożenia mineralnego, była większa od wartości wskaźnika na obiekcie z obornikiem (tab. 6). Natomiast pozostałe formy nawozów zielonych z wsiewek międzyplonowych zmniejszyły wartość wskaźnika efektywności energetycznej w porównaniu z obornikiem. Najwyższą efektywność energetyczną uzyskano w kombinacji z całą biomasa lucerny chmielowej, najniższą zaś na obiekcie nawożonym resztkami poźniwnymi życicy wielokwiatowej i dawką 600 kg NPK·ha⁻¹. Zastosowanie 400 kg NPK·ha⁻¹, w odniesieniu do obiektu bez nawożenia mineralnego, zwiększyło nakłady energetyczne na 1 ha w kombinacjach nawożonych organicznie w granicach od 72,06 do 366,95%, natomiast wartość energetyczna plonu buraka cukrowego wzrosła tylko od 20,51 do 31,21%. Zwiększenie nawożenia mineralnego z 400 do 600 kg NPK·ha⁻¹ podniosło nakłady energetyczne w badanych kombinacjach o 20,39-48,68%, a wartość energetyczną plonu o 3,63-7,09% (tab. 3, 5). Dlatego też wzrost poziomu nawożenia mineralnego powodował spadek wskaźnika efektywności energetycznej.

Tabela 6. Wskaźnik efektywności energetycznej
Table 6. Energy effectiveness index

Forma nawozu organicznego Organic fertiliser form	Poziom nawożenia mineralnego Mineral fertilisation level kg NPK·ha ⁻¹		
	0	400	600
Obiekt kontrolny – Control	–	20,27	14,13
Obornik – Farmyard manure	26,39	13,22	10,98
Cała masa roślinna – Total plant biomass:			
Lucerna chmielowa – Hop medick	69,37	18,18	13,95
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	13,96	9,76	8,53
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	21,57	12,39	10,48
Resztki poźniwne – Post-harvest residue:			
Lucerna chmielowa – Hop medick	42,41	15,43	12,08
Życica wielokwiatowa – Italian ryegrass	11,74	8,95	7,80
Lucerna chmielowa + życica wielokwiatowa Hop medick + Italian ryegrass	16,93	10,82	9,24

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Rachunek energetyczny w rolnictwie umożliwia ustalenie najkorzystniejszych technologii oraz form organizacji produkcji, istotnych ze względów energetycznych [Maciejko 1984, Kuś i in. 1988]. Jest on stosowany m.in. do oceny poszczególnych zabiegów agrotechnicznych, jak i pełnych technologii produkcji wybranych ziemiopłodów [Wójcicki 1979, 1981, Wielicki 1988, Terlikowski i Zdrojewski 1989, Malicki i in. 1994, Zimny i Kordas 1997, Kordas 1999]. Zaletą rachunku energetycznego jest duża porównywalność wyników w czasie i przestrzeni, niezależnie od relacji cen [Kuś i in. 1988, 1990, Zimny i Kordas 1997].

Z dotychczasowych badań wynika, że uprawa buraka cukrowego obciążona jest dużymi nakładami energetycznymi [Wielicki 1986a, Kuś i in. 1988, Gutmański 1992, Sęk

i Przybył 1993]. W związku z tym prace eksperymentalne nad poszukiwaniem mniej energochłonnych elementów technologii produkcji buraka cukrowego są ciągle aktualne.

W badaniach autorów nakłady energetyczne poniesione na formy nawozu organicznego i poziomy nawożenia mineralnego stosowane w uprawie buraka cukrowego były zróżnicowane – w kombinacjach nawożonych całą biomasą, jak i resztkami poźniwnymi lucerny chmielowej mniejsze niż nakłady na obiekcie z obornikiem. Również rezultaty badań Grześkiewicza [1994] wskazują, że stosowanie w nawożeniu roślin okopowych nawozów zielonych z międzyplonów zapewnia znaczne oszczędności energii w porównaniu z obornikiem. W przeprowadzonym eksperymencie nakłady energetyczne na pracę ludzką w kombinacjach z całą biomasą wsiewek międzyplonowych były mniejsze niż na obiekcie z obornikiem. Do podobnych konkluzji doszedł Zimny i Krzyśków [1996]. Według tych autorów nakłady energetyczne na pracę ludzką w technologii produkcji buraka cukrowego z zastosowaniem obornika są większe niż w technologii z wykorzystaniem nawozów zielonych z międzyplonów ścierniskowych. Uwzględniając obiekty użyźniane nawozami zielonymi, w przedstawionych badaniach największe nakłady energetyczne stwierdzono w kombinacjach z resztkami poźniwnymi i całą biomasą życicy wielokwiatowej. Wynika to z nawożenia życicy wielokwiatowej po zbiorze rośliny ochronnej oraz pierwszego pokosu życicy największą dawką azotu. Wsiewki roślin motylkowatych, w odróżnieniu od wsiewek traw i mieszanek motylkowatych z trawami, nie wymagają nawożenia azotem [Gawrońska-Kulesza i Nelken 1978, Ignaczak 1993]. Dlatego też nakłady energetyczne poniesione na nawożenie buraka cukrowego całą masą i resztkami poźniwnymi lucerny chmielowej były mniejsze od nakładów na stosowanie całej masy i resztek poźniwnych życicy wielokwiatowej czy też mieszanki lucerny chmielowej z życią wielokwiatową. Uzyskane wyniki wskazują, że stosowanie pod burak cukrowy resztek poźniwnych wsiewek międzyplonowych, w porównaniu z całą masą wsiewek, zwiększa znacznie zużycie energii ze względu na koszenie i zbiór drugiego pokosu wsiewek międzyplonowych. Nawożenie buraka cukrowego resztkami poźniwnymi wsiewek międzyplonowych przyczynia się jednak do uzyskania dodatkowo 13,3-18,1 t·ha⁻¹ zielonki o wartości energetycznej 53200-72400 MJ·ha⁻¹. Masę kośną wsiewek międzyplonowych rolnik może przeznaczyć na paszę dla zwierząt gospodarskich [Gawrońska-Kulesza i Nelken 1978, Buraczyńska i Ceglarek 2002].

Zwiększenie nawożenia mineralnego w uprawie buraka cukrowego powoduje wzrost nakładów energetycznych [Kowalski i Fordoński 1987]. Zależność ta wynika głównie ze wzrostu dawek nawozów mineralnych. W doświadczeniu autorów, podobnie jak w badaniach Terlikowskiego i Zdrojewskiego [1989] oraz Wielickiego [1988], nakłady na nawozy mineralne stanowiły bowiem największy udział w strukturze nakładów energetycznych.

Wzrost poziomu nawożenia mineralnego zwiększał również wartość energetyczną plonu korzeni i liści buraka cukrowego. Procent wzrostu wartości energetycznej plonu buraka cukrowego pod wpływem zwiększonego nawożenia mineralnego był jednak mniejszy niż nakładów energetycznych. Stąd w warunkach zwiększonego nawożenia mineralnego wskaźnik efektywności energetycznej był mniejszy. Podobny wpływ wrażliwego nawożenia mineralnego na wartość wskaźnika efektywności energetycznej opisali również Kowalski i Fordoński [1987] oraz Kuś i in. [1988, 1990].

Wyniki przedstawionych badań pozwalają stwierdzić, że zmniejszenie nakładów energetycznych w nawożeniu buraka cukrowego można uzyskać przez zastąpienie obornika nawozami zielonymi z całej biomasy i resztek poźniwnych lucerny chmielowej,

uzupełnionymi odpowiednimi dawkami nawozów mineralnych. Nawożenie buraka cukrowego całą masą lucerny chmielowej było najbardziej efektywne.

PIŚMIENNICTWO

- Buraczyńska D., Ceglarek F., 2002. Plon i jakość buraka cukrowego w warunkach zróżnicowanego nawożenia organicznego i mineralnego. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 1(2), 93-105.
- Czyż E., Tomaszewska J., Sawa J., 1995. Efektywność produkcyjna i energetyczna różnych systemów uprawy roli. *Fragm. Agron.* 1 (45), 20-27.
- Dzienia S., Piskier T., 1999. Efektywność systemów uprawy roli pod pszenicę ozimą na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 201, *Agricultura* 78, 23-28.
- Gawrońska-Kulesza A., Nelken D., 1978. Poplony źródłem pasz. PWRiL Warszawa.
- Grześkiewicz H., 1994. Poplony ścierniskowe jako cenny nawóz organiczny pod ziemniaki. *Ziemn. Pol.* 4, 11-14.
- Gutmański I., 1992. Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę buraka cukrowego. *Mat. konf. Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę roślin uprawnych, ART Olsztyn*, 29-70.
- Gutmański I., 1996. Niskonakładowa technologia produkcji buraka cukrowego. IHAR Bydgoszcz.
- Gutmański I., Kostka-Gościński D., Kreft K., Nowakowski M., Szymczak-Nowak D., 1999. Nakłady i koszty produkcji buraka cukrowego z siewu w mulcz. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 195, *Agricultura* 74, 97-103.
- Ignaczak S., 1993. Ocena wydajności niektórych roślin uprawianych jako wsiewka poplonowa w owies przeznaczony na zielonkę i na ziarno. Cz. II. Rozwój roślin wsiewkowych, ich plonowanie i wydajność ogniwa roślinna osłonowa – wsiewka poplonowa. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy* 181, *Rolnictwo* 33, 83-93.
- Kordas L., 1999. Energochłonność i efektywność różnych systemów uprawy roli w zmianowaniu. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 195, *Agricultura* 74, 47-52.
- Kowalski M., Fordoński G., 1987. Wpływ terminu stosowania zróżnicowanych dawek azotu na plon i wartość technologiczną buraka cukrowego genetycznie jednonasiennego. *Biul. IHAR* 161, 141-153.
- Kuś J., Krasowicz S., Harasim A., 1988. Porównanie zmianowań z różnym udziałem zbóż na tle zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia w wieloletnim doświadczeniu polowym w Grabowie. Cz. V. Efektywność energetyczna. *Pam. Puł.* 92, 119-131.
- Kuś J., Krasowicz S., Harasim A., 1990. Efektywność energetyczna zmianowań z różnym udziałem zbóż na glebach lekkich. *Fragm. Agron.* 3 (27), 14-22.
- Maciejko W., 1984. Rachunek energetyczny w rolnictwie. *Zag. Ekon. Rol.* 2, 85-96.
- Malicki L., Ochał M., Podstawka-Chmielewska E., 1994. Energy consumption and effectiveness of various methods of post-harvest and pre-winter cultivation of heavy soil for sugar beet. *Fragm. Agron.* 3 (43), 78-81.
- Nowacki T., 1985. Energotechnologiczne problemy gospodarki żywnościowej. *Post. Nauk Roln.* 1, 7-46.
- Sęk T., Przybył J., 1993. Wstępna ocena możliwości zmniejszenia energochłonności produkcji buraków cukrowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 408, 111-116.
- Terlikowski J., Zdrojewski J., 1989. Nakłady materiałowo-energetyczne i energochłonność skumulowana eksploatacji maszyn w technologiach nawożenia mineralnego. *Instrukcja wdrożeniowa* 65, IBMER Warszawa.
- Wielicki W., 1986a. Analiza porównawcza energochłonności roślin rolniczych. *Rocz. Nauk Roln. C* 77 (3), 183-190.
- Wielicki W., 1986b. Energochłonność produkcji rolniczej (bilans energetyczny gospodarstwa). *Rocz. Nauk Roln. C* 77 (1), 71-79.

- Wielicki W., 1988. Analiza porównawcza technologii produkcji buraków cukrowych. *Rocz. Nauk Roln. G* 85 (1), 105-119.
- Wójcicki Z., 1979. Wskaźniki energochłonności niektórych produktów rolniczych. IBMER Warszawa.
- Wójcicki Z., 1981. Energochłonność produkcji rolniczej. *Rocz. Nauk Roln. C* 75 (1), 165-197.
- Zaremba W., 1985. *Ekonomika i organizacja mechanizacji rolnictwa*. PWRiL Warszawa.
- Zimny L., Kordas L., 1997. Efektywność energetyczna produkcji buraka cukrowego. *Biul. IHAR* 202, 283-287.
- Zimny L., Krzyśków S., 1996. Efektywność produkcji buraka cukrowego w warunkach zróżnicowanych technologii uprawy. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo LXVII*, 209-214.
- Ziołocka A., Kuźdowicz M., Kielanowski J., 1979. *Tabele składu chemicznego i wartości pokarmowej pasz krajowych*. PWN Warszawa.

ENERGY VALUE OF VARIOUS FERTILISATION OF SUGAR BEET AND ITS YIELD

Abstract. The research defined energy inputs involved in organic (farmyard manure, total plant biomass and post-harvest residue of undersown catch crop) and mineral fertilisers (400, 600 kg NPK·ha⁻¹). There were estimated energy value of feed undersown-catch-crop yield, of sugar beet root and leaf yield and energy effectiveness index. The highest energy inputs were observed in the combination fertilised with post-harvest residues of Italian ryegrass. The application of the total hop medick biomass and its post-harvest residue

under sugar beet, as compared with the farmyard manure, decreased the energy inputs per 1 ha, respectively, by 59.99 and 41.67%. An increase in the level of mineral fertilisation with NPK increased energy inputs and energy value of sugar beet yield, yet decreased the value of energy effectiveness index. The sugar beet yield energy value was highest in the object fertilised with the total plant biomass of the hop medick and Italian ryegrass as well as with the total plant biomass of hop medick and with 600kg of NPK·ha⁻¹. The highest energy effectiveness index was obtained for the combination fertilised with the total plant biomass of hop medick.

Key words: sugar beet, organic fertilisation, mineral fertilisation, energy inputs, yield energy value, energy effectiveness index

Danuta Buraczyńska, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin Akademii Podlaskiej w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: buracz@ap.siedlce.pl

Feliks Ceglarek, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin Akademii Podlaskiej w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: ceg@ap.siedlce.pl