ACTA AGROPHYSICA

KOMPLEKSOWA OCENA AGROTECHNOLOGII ZIEMNIAKA I PSZENŻYTA JAREGO

Hanna Klikocka, Jarosław Sachajko

195

Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

Rozprawy i Monografie
2011 (4)

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny – Józef Horabik
Zastępca Redaktora Naczelnego – Grzegorz Józefaciuk
Sekretarz Redakcji – Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna

Dorota Witrowa-Rajchert – przewodnicząca

Ryszard Dębicki
Bohdan Dobrzański
Danuta Drozd
Franciszek Dubert
Tadeusz Filipek
Józef Fornal
Jan Gliński, czł. rzecz. PAN
Eugeniusz Kamiński
Andrzej Kędziora
Tadeusz Kęsik
Krystyna Konstankiewicz
Janusz Laskowski
Jerzy Lipiec
Piotr P. Lewicki
Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN
Edward Niedźwiecki
Viliam Novák, Słowacja
Josef Pecen, Czechy
Jan Sielewiesiuk
Witold Stępniewski
Bogusław Szot
Zbigniew Ślipek
Jerzy Weres

Opiniował do druku
Prof. dr hab. Adam Harasim

Adres redakcji
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Wydawnictwo
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, tel. (81) 744-50-61, www.ipan.lublin.pl

Streszczenia i pełne teksty prac dostępne są na stronie internetowej czasopisma
www.acta-agrophysica.org

Czasopismo jest umieszczone w następujących bazach:
Thomson Scientific Master Journal List
Polish Scientific Journals Contents – Life Sci.
Biblioteka Główna i Centrum Informacji Naukowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
Instytut Bibliotekoznawstwa i Informacji Naukowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Lonicera – serwis botaniczny

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2011

ISSN 1234-4125, ISBN 978-83-89969-76-7

Acta Agrophysica są do nabycia w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie oraz w oddziałach firmy Kolporter S.A. na terenie całego kraju. Informacje pod numerem infolinii 0801-205-555 lub na stronie internetowej http://www.kolporter-spolka-akcyjna.com.pl/prenumerata.asp

Wydanie I. Nakład 130 egz., ark. 10,1
Skład komputerowy: Wanda Woźniak
Druk: *ALF-GRAF*, ul. Abramowicka 6, 20-391 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. UPRAWA ROLI W KSZTAŁTOWANIU ŚRODOWISKA 8
   2.1. Historia uprawy roli 8
   2.2. Wpływ uprawy roli na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby 13
   2.3. Uprawa roli a plonowanie roślin 15
   2.4. Uprawa roli pod ziemniaka 16
   2.5. Uprawa roli pod pszenżyto jare 20
   2.6. Ekonomiczna i energetyczna ocena uprawy roli i roślin 25
3. SIARKA W ŚRODOWISKU I NAWOŻENIU ROŚLIN 35
   3.1. Występowanie i właściwości siarki 35
   3.2. Siarka w produkcji roślinnej 36
   3.3. Siarka w glebie 38
   3.4. Nawożenie siarką 40
   3.5. Agroekologiczny aspekt nawożenia siarką 41
4. CHARAKTERYSTYKA PRZEPROWADZONYCH DOŚWIADCZEŃ 41
   4.1. Opis terenu badań i doświadczeń polowych 41
      4.1.1. Agrotechnologia ziemniaka 44
      4.1.2. Agrotechnologia pszenżyta jarego 47
   4.2. Wykaz badanych cech i opis metod analitycznych 49
      4.2.1. Cechy technologiczne roślin oraz jakość i skład chemiczny bulw i ziarna 49
      4.2.2. Wskaźniki ekonomicznej i energetycznej oceny produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego 50
5. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ 58
   5.1. Agrotechnologia ziemniaka 58
      5.1.1. Cechy technologiczne, jakość i skład chemiczny bulw 58
      5.1.2. Ekonomiczna efektywność produkcji ziemniaka 73
      5.1.3. Energetyczna efektywność produkcji ziemniaka 78

5.2. Agrotechnologia pszenżyta jarego 81
5.2.1 Cechy technologiczne, jakość i skład chemiczny ziarna 81
5.2.2. Ekonomiczna efektywność produkcji pszenżyta jarego 89
5.2.3. Energetyczna efektywność produkcji pszenżyta jarego 93
6. DYSKUSJA 97
6.1. Plon i jego komponenty oraz jakość i skład chemiczny bulw ziemniaka 97
6.2. Plon i jego komponenty oraz jakość i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego 101
6.3. Ekonomiczna efektywność produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego 104
6.4. Energetyczna efektywność produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego 110
7. WNIOSKI 112
8. PIŚMIENNICTWO 113
9. STRESZCZENIE 126
10. SUMMARY 127

1. WSTĘP

Poszukiwanie i opracowanie nowych sposobów uprawy roli i nawożenia ziemniaka oraz pszenżyta jarego, które zapewnią optymalne plonowanie roślin, będą przyjazne dla środowiska oraz ekonomicznie uzasadnione to ważny problem.

Ziemniak, czyli psianka ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) z rodziny psiankowatych (*Solanceae*), jest rośliną trwałą, jednoroczną, uprawianą w strefach klimatu umiarkowanego. W Europie uprawa ziemniaka sięga do 70° szerokości północnej, w górach dochodzi do 2000 m n.p.m. Jest to roślina należąca do najbardziej wysokogórskich. Świadczy o tym zasięg jej uprawy w Andach, do wysokości 4500 m n.p.m. Stamtąd ziemniak pochodzi. Rodzaj *Solanum* liczy więcej niż 2000 gatunków, z tego ponad 170 wytwarza bulwy (Nowiński 1970, Putz 1997). Znaczenie w świecie ma jednak tylko jeden podgatunek, fotoperiodycznie bierny lub jako roślina dnia długiego – *Solanum tuberosum ssp. tuberosum.*

Uprawa ziemniaka w Europie Środkowej, według Putza (1997) na wielką skalę rozpowszechniła się w pierwszej połowie XIX wieku. Ziemniak był głównym pożywieniem dla bydła opasowego, a także ważnym surowcem dla gorzelni i przemysłu skrobiowego. Ponadto w Europie był podstawowym składnikiem diety żywnościowej, ratującym ludność przed głodem. Obecnie ziemniak, zawierający nawet do 26% skrobi, jest podstawowym surowcem do produkcji 70 wyrobów, w tym żywnościowych i przemysłowych oraz wykorzystywanym jako materiał sadzeniakowy. Jest rośliną, którą można uprawiać na glebach lekkich. Można wyróżnić 40 kierunków użytkowania ziemniaka (Putz 1997). Ziemniak uprawiany jest w 80% państw, a w doborze znajduje się ponad 1000 jego odmian. Pod względem wielkości zbiorów roślin uprawnych zajmuje czwarte miejsce po pszenicy, ryżu i kukurydzy. W świecie Polska zajmuje czwarte miejsce areału uprawy i produkcji ziemniaka po Chinach, Rosji i Ukrainie (GUS, 2010). Powierzchnia uprawy ziemniaka w Polsce, w roku 2008 wynosiła 543 tys. ha, zbiory w kraju wyniosły 9,84 mln. ton, a średni plon 18,1 $t \cdot ha^{-1}$ (Dzwonkowski i in. 2010). W 64% ziemniak jest wykorzystywany do bezpośredniego zużycia (przede wszystkim jako pasza dla trzody chlewnej), 17% trafia do handlu, a 17% stanowią ubytki. Należy jednak podkreślić, że z końcem lat 60. obszar uprawy tej rośliny systematycznie zmniejsza się. Główną przyczyną było przejście rolników na żywienie zwierząt oparte na paszach treściwych.

Pszenżyto to syntetyczny mieszaniec międzyrodzajowy żyta z pszenicą, który łączy w sobie cechy gatunków użytych do krzyżowania. W warunkach naturalnych mieszańce pszenicy z żytem nie występują. Po raz pierwszy mieszańce te uzyskał w 1875 r. A. Willson z Edynburga, jednak były one sterylne. Pierwsze trwałe i płodne mieszańce uzyskał w 1889 r. niemiecki hodowca W. Rimpau. Wittmack

nazwał je *Triticosecale,* a inni genetycy *Triticale* lub *Secalotriticum*. Określenia te wywodzą się od łacińskich nazw rodzajowych pszenicy (*Triticum* L.) i żyta (*Secale* L.). Pszenica jest formą mateczną, a żyto formą ojcowską (Tarkowski 1989).

Pszenżyto zostało wdrożone do uprawy względnie niedawno. Pierwsze uprawne formy pszenżyta ozimego wyhodowano na Węgrzech w 1968 r., a pszenżyta jarego w Kanadzie w 1970 r. Na świecie dominują w uprawie odmiany jare, a w Europie – głównie ozime.

W Polsce w 1982 r. do Rejestru Odmian Oryginalnych została wpisana pod nazwą Lasko pierwsza odmiana pszenżyta ozimego. W 1987 r. dopuszczono do uprawy pierwszą jarą odmianę Jago.

W Polsce w 2008 r. pszenżyto ozime zajmowało 1225 tys. ha, a jare 108 tys. ha, zbiory w kraju wynosiły 4157 tys. ton, a średni plon 3,34 $t \cdot ha^{-1}$. Średni plon wszystkich odmian pszenżyta wziętych do doświadczeń polowych (1996-1998) wynosił 6,87 $t \cdot ha^{-1}$, co oznacza, że był najwyższy spośród zbóż. Takie wyniki plonowania sugerują, iż pszenżyto jest prawdopodobnie najplenniejszym zbożem w Polsce (Budzyński i Szempliński, 2003). Jaśkiewicz (2009) na podstawie analizy plonów stwierdza, że relacja rzeczywiście uzyskiwanych plonów pszenżyta do realnie możliwych do osiągnięcia kształtuje się najlepiej w zachodniej części Polski.

Smagacz (1999) i Jaśkiewicz (2009) podają, że pszenżyto można uprawiać w zmianowaniach z dużym udziałem zbóż, gdyż w gorszych warunkach siedliska i agrotechniki reaguje ono mniejszym spadkiem plonu ziarna, niż inne zboża, szczególnie w porównaniu z pszenicą. W związku z tym może ono w naszych warunkach odegrać podobną rolę w produkcji ziarna paszowego, jaką spełnia jęczmień ozimy w krajach Europy Zachodniej.

Zawartość białka w pszenżycie wynosi od 8 do 20% suchej masy, przeciętnie 12,5%. Formy jare zawierają więcej białka, jednakże plonują nieco niżej niż ozime. Dla porównania średnia zawartość białka w pszenicy wynosi 13,0%, a w życie 11,0%. Najwięcej białka znajduje się w zewnętrznej warstwie ziarna pszenżyta, w związku z tym w czasie przemiału przechodzi ono do otrąb. W mące pszenżytniej jest mniej glutenu mokrego i jego jakość jest gorsza niż w pszenicy, ale w przeciwieństwie do żyta zawiera mniejszą ilość substancji nieżywieniowych, głównie alkilorezorcynoli czy inhibitorów białkowych. Substancje te zmniejszają stopień przyswajalności białek. Dlatego ziarno pszenżyta lepiej nadaje się na paszę niż do przemiału na mąkę i chleb. Ziarno pszenżyta zawiera dużo skrobi, błonnika oraz składników mineralnych i jako pasza jest odpowiednie dla wszystkich gatunków zwierząt gospodarskich. Jednakże prowadzi się badania w celu użycia ziarna pszenżyta w przemyśle młynarskim na mąkę spożywczą. Z pszenżyta można także produkować słód dla potrzeb przemysłu piwowarskiego, spirytusowego i piekarskiego (Budzyński i Szczempliński 2003).

Nakłady na produkcję 1 ha ziemniaka w Polsce wynoszą 85-158 rbh, zaś w krajach zachodnich kształtują się w granicach 40-50 rbh (Beres 1993). Nakłady na produkcję pszenżyta jarego wynoszą natomiast 16 rbh·ha^{-1} (Klikocka 2005d). Przyjmuje się, że w strukturze nakładów energetycznych uprawa roli pochłania 25-40% całkowitych nakładów na produkcję roślinną (Czyż i in. 1995). Krasowicz i Podolska (1996) podają, że pielęgnowanie chemiczne łanów pszenicy ozimej także istotnie zwiększa energochłonność produkcji. Natomiast ochrona roślin oraz nawożenie pszenżyta stanowi od 50 do 65% nakładów w strukturze kosztów produkcji (Koziara i in. 1994).

Zdaniem Beresa (1993) technologie produkcji ziemniaka powinny być tak dobrane, aby nie występowały w nich niepotrzebne zabiegi agrotechniczne i jednocześnie, by były one w równym stopniu zmechanizowane. Według cytowanego autora, powinno się dążyć do stosowania metod zmniejszających zużycie energii i kosztów pracy maszyn oraz ludzi, a także skrócenia czasu wykonania zabiegu. W nowoczesnej technologii produkcji pszenżyta powinno się dążyć do redukcji nakładów energii ponoszonych na wykonywanie zabiegów uprawy roli oraz wysiewu nasion. Redukcję tę można uzyskać dzięki spłyceniu uprawy roli jak również ograniczeniu zabiegów uprawowych. W opinii Dzieni i in. (1994) uproszczenia w uprawie roli mogą powodować zmniejszenie plonu ziarna, co nie kompensuje poniesionych kosztów produkcji. Zdaniem Dziamby (1982) cechy fizyczne gleby powiny być brane pod uwagę w trakcie planowania częściowego zaprzestania pełnej uprawy roli.

Wielu autorów twierdzi, że ziemniak i zboża należy nawozić siarką. Siarka uczestniczy w zasadniczych procesach metabolicznych roślin, stymuluje pobieranie i wykorzystanie azotu, stanowi element budulcowy białek, jest składnikiem aminokwasów egzogennych, należy do pierwiastków biogennych co czyni ją niezbędnym pierwiastkiem dla organizmów żywych (Fotyma 2003).

Zawartość siarki siarczanowej (przyswajalnej) w przeważającej części gleb Polski użytkowanych rolniczo nie przekracza 25 mg·kg^{-1} gleby; w dominującej części badanych gleb na powierzchni 1 ha w warstwie ornej występuje nie więcej jak 50 kg siarki siarczanowej, a ponad 30% gleb zawiera nie więcej jak 30 kg·ha^{-1} siarki dostępnej dla roślin (Lipiński i in. 2003). Uzupełnienia nawożenia siarką wymagają rośliny krzyżowe, czosnek i celuba gdyż, pobierają nawet do kilkuset kilogramów tego składnika z hektara. Zboża pobierają od 18 do 30 kg siarki z hektara, natomiast ziemniak do 40 kg (Klikocka 2005c), dlatego Lipiński i in. (2003) w przypadku niskiej zawartości siarki w glebie (do 15 mg $S\text{-}SO_4 \cdot kg^{-1}$) zalecają nawożenie zbóż i ziemniaka siarką w ilości do 30 kg·ha^{-1}.

W związku z brakiem prac nad oceną kompleksowej technologii produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego w połączeniu z nawożeniem siarką podjęto badania mające na celu tę lukę wypełnić.

2. UPRAWA ROLI W KSZTAŁTOWANIU ŚRODOWISKA

2.1. Historia uprawy roli

W produkcji roślinnej jednym z nieodzownych elementów technologicznych nadal pozostaje uprawa roli. Jeszcze do niedawna przypisywano jej podstawowe znaczenie dla stabilności i wielkości tej produkcji. Dziś nie należy już do najefektywniejszych czynników agrotechnicznych, bowiem jej znaczenie plonotwórcze wyraźnie zmalało (Orzech i in. 2003). W przeciętnych warunkach siedliskowych jej „siłę plonotwórczą" szacuje się na około 3-8% (Niewiadomski 1979, Krzymuski 1984), lecz może być swoistego rodzaju katalizatorem skuteczności znacznie silniej działających takich zabiegów, jak nawożenie i ochrona roślin (Marks 1998). Przy zaniedbaniach uprawy roli niemożliwe staje się pełne wykorzystanie postępu biologicznego i siły plonotwórczej intensywnych odmian roślin (Nowicki i Marks 1994).

Uprawa roli wpływa przede wszystkim na jej stan fizyczny, chemiczny i biologiczny, stąd w miarę możliwości należy dostosować ją do wymagań poszczególnych gatunków roślin, a także rodzaju i stanu gleby, lokalnego agroklimatu (Orzech i in. 2003). Głównym zadaniem uprawy roli jest stworzenie możliwie najkorzystniejszych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin. Dzieje się to między innymi poprzez zapewnienie odpowiedniej ilości łatwo dostępnej wody, dostarczenie do gleby powietrza (tlenu) oraz niezbędnych dla życia makro- i mikroskładników. Prawidłowo wykonana uprawa roli powinna ponadto spełniać szereg innych istotnych warunków. Poza odpowiednim rozluźnieniem lub zagęszczeniem, zwiększeniem aktywności biologicznej, musi także ograniczać zachwaszczenie, poprawiać strukturę oraz jej trwałość, a także zapewniać dokładne wymieszanie z glebą resztek pożniwnych, nawozów naturalnych, organicznych i mineralnych, a w terenach zagrożonych – wyeliminować lub ograniczyć występowanie erozji wodnej i wietrznej (Kuś 1998). Obecnie oczekuje się od niej także przeciwdziałania negatywnym skutkom współczesnych technologii produkcji; chodzi między innymi o przyśpieszenie rozkładu (neutralizowania) pozostałości substancji aktywnych z niektórych środków ochrony roślin oraz ograniczenie mechanicznego ugniatania gleby (Dzienia i Sosnowski 1989).

Uprawa roli to bardzo praco- i energochłonne ogniwo agrotechniki. Od lat poszukuje się sposobów jego racjonalizowania, polegających przede wszystkim na obniżaniu nakładów energetycznych, związanych z samym procesem produkcji, przy jednoczesnym zachowaniu „przyjaznego stosunku dla środowiska" (Dzienia i in. 1995, Grabiński 1999). Obecnie, w świecie, Europie, a także w Polsce można wyróżnić trzy podstawowe systemy uprawy roli:

- płużny, w którym podstawę stanowi orka, doprawiona szeregiem zabiegów odwracających, spulchniających, ugniatających itp. wykonywanych głównie narzędziami biernymi,
- uproszczony, kombinowany, nierzadko przyjmujący formę bezpłużną (bezorkową), z przewagą upraw spulchniających (pracę pługa uzupełnia się bądź zastępuje, np. głęboszami, kultywatorami lub maszynami czynnymi),
- siew bezpośredni – skrajna forma uproszczeń, bowiem od zbioru przedplonu do wysiewu rośliny następczej całkowicie rezygnuje się z zabiegów mechanicznych na rzecz intensywnej chemicznej (przedsiewnej i powschodowej) ochrony; sam siew wykonuje się za pomocą specjalistycznego sprzętu (Orzech i in. 2003).

W systemie uproszczonym można wyróżnić podsystem zachowawczy, chociaż wielu autorów wyodrębnia go jako oddzielny system. System zachowawczy zwany jest systemem konserwującym, siewem w mulcz, siewem w roślinę okrywową. Został wprowadzony ustawą w Stanach Zjednoczonych Ameryki (1985), nakazującą przykrycie gleby narażonej na erozję resztkami organicznymi, co najmniej 25% powierzchni. Od roku 1990 zakazuje się stosowania tradycyjnej uprawy roli w rejonach zagrożonych erozją. Jest to konsekwencją wprowadzonej w latach 50-60 uprawy no-till zwanej również zero-tillage oraz używania dużej ilości herbicydów (powołano do tego celu służbę nadzorczą – USDA-Soil Conservation Service of America, 1979). Do uprawy roli mogą być użyte kultywatory o łapach sztywnych, brony rotacyjne i talerzowe, zestawy uprawowo-siewne oraz siewniki do siewu bezpośredniego. Rola spulchniana jest na głębokość 5-30 cm, a powierzchnia pola częściowo pokryta jest resztkami organicznymi. System ten jest krytycznie przyjmowany przez rolników, gdyż z uwagi na pozostałe resztki pożniwne po siewie pole sprawia wrażenie uprawy niedbałej, a stosowany jest najczęściej pod uprawę kukurydzy, soi, buraka cukrowego i ziemniaka (Sommer 1998). Kierunki rozwoju uprawy zachowawczej przedstawiono w tabeli 1.

Zaletami uprawy zachowawczej jest: zapobieganie erozji wietrznej i wodnej, poprawa struktury gleby (penetrowanie gleby przez korzenie międzyplonu), nośności i żyzności gleby, poprawa infiltracji wody i podsiąku kapilarnego, zmniejszenie strat azotu w zimie oraz tempa mineralizacji próchnicy, wzrost aktywności biologicznej gleby (głównie dzięki dżdżownicom), biologiczne zwalczanie szkodników (mątwikobójcze odmiany międzyplonów i chwastu – gorczyca biała), umożliwienie wcześniejszego siewu, mniejsze koszty i o 20-30% obniżone nakłady energii i robocizny (Kuś 1998, Zimny 1999).

Najstarszym, a zarazem najbardziej rozpowszechnionym oraz ugruntowanym zarówno teoretycznie, jak i w praktyce pozostaje do dziś system płużnej uprawy roli (Gawrońska-Kulesza 1997). Podstawowym zabiegiem uprawowym jest tu orka, wspomagana szeregiem czynności uzupełniająco-doprawiających (Roszak

1997). System ten zakłada wielokrotną w ciągu roku ingerencję w wierzchnią warstwę gleby, przy użyciu różnego rodzaju sprzętu mechanicznego. Oprócz wielu niewątpliwych zalet, postępowanie takie obarczone jest jednak licznymi wadami. Cechy pozytywne to: dobre spulchnianie na odpowiednią głębokość, odwracanie, rozdrobnienie, niszczenie chwastów, mieszanie z glebą składników pokarmowych itp. Natomiast wśród negatywnych cech Kuś (1998) wymienia uszkodzenie powierzchniowej warstwy ochronnej, a także jej struktury, zaburzenie obiegów składników pokarmowych, przesuszenie gleby, sprzyjanie erozji wodnej i wietrznej oraz zbyt szybki rozkład substancji organicznej. Ponadto uprawę opartą na pracy pługa oraz narzędzi doprawiających cechuje wspomniana wcześniej duża pracochłonność i energochłonność, z tego też względu odbywa się jej ustawiczne modyfikowanie (Sommer 1998). Również w ujęciu historycznym obserwowano tendencję do zmniejszenia liczby i głębokości zabiegów.

Tabela 1. Kierunki rozwoju zachowawczej uprawy roli (Sommer 1998)
Table 1. Directions of development of conservation soil tillage (Sommer 1998)

System uprawy Tillage system	Zabiegi od zbioru do siewu Treatments from harvest to sowing	Powierzchnia pola pod uprawą Field area under cultivation	Walka z chwastami Weed control	Resztki pożniwne Crop residues (%)
Siew bezpośredni No-tilll	bez none	2-7 cm	chemiczna chemical	90
Redlinowa Ridge till	bez none	1/3 powierzchni area	chemiczno-mechaniczna chemical-mechanical	66
Wstęgowa Strip till	bez none	1/3 powierzchni area	chemiczno-mechaniczna chemical-mechanical	50
Konserwująca Mulch till	pełny zakres full range	pełna full	chemiczno-mechaniczna chemical-mechanical	33
Uproszczona Reduced till	pełny zakres full range	pełna full	chemiczno-mechaniczna chemical-mechanical	20

W polskiej literaturze poświęconej rolnictwu XVI-XVII w., np. pod zboża ozime zalecano od 4 do 5 orek, nie głębszych jednak niż 15 cm; ograniczenie głębokości wynikało zresztą z ówczesnych możliwości technicznych.

Kluk (1799) (za Kusiem 1998) radzi: „Na oziminę im więcej się razy przewróci i poruszy rolę, tym pożyteczniej jest. Od najdawniejszych czasów cztery razy za potrzebne poczytano. Czworakie oranie pod oziminę takowe jest. Pierwsze czyni się w jesieni przed zimą. Drugie czyni się wiosną ziemię odwracając i rozbijając. Trzecie czyni się w św. Jana. Czwarte i ostatnie czyni się najmniej na dwa tygodnie przed siejbą. Pod jarzynę potrójnie, jak najmniej podwójne oranie"

Podobnie Wirgiliusz zalecał wykonywanie w ciągu roku pięciu orek, Gostomski (XVII w.) liczbę orek uzależniał od przedplonu i formy wysiewanego gatunku i tak pod oziminy po ugorze czarnym ich liczba powinna wynosić pięć, a pod jare wysiewane po oziminach trzy (Gawrońska-Kulesza 1997).

W ciągu XX w. i obecnie obserwuje się ogólną tendencję do zmniejszenia intensywności uprawy roli, zwłaszcza spłycania orek i zastępowania ich innymi zabiegami. Dąży się do ograniczenia liczby zabiegów oraz ich głębokości, wprowadza się maszyny aktywne i wieloczynnościowe agregaty, stosuje się coraz powszechniej uprawę bezorkową, polegającą na płytkim spulchnianiu i cyklicznym głęboszowaniu. Zalecenia niemieckie proponują zmienne głębokości uprawy roli pod poszczególne grupy roślin, po różnych przedplonach (tab. 2).

Tabela 2. Optymalne głębokości uprawy roli (Sommer 1998)
Table 2. Optimum depth of soil tillage (Sommer 1998)

Przedplon – Forecrop	Roślina następcza – Aftercrop	Głębokość – Depth (cm)
Okopowe – Roots	zboża – cereals	15-20
Zboża – Cereals	zboża – cereals	20-25
Okopowe – Roots	okopowe – roots	20-25
Zboża – Cereals	okopowe – roots	25-30
Motylkowe – Legumes	okopowe – roots	25-30

Stosowanie systemu bezorkowego możliwe jest przy wykorzystaniu odpowiednich narzędzi biernych bądź czynnych narzędzi uprawowych. Te ostatnie odgrywają coraz większą rolę, gdyż energiczniej niż narzędzia bierne spulchniają warstwę uprawną i skracają jej czas doprawiania. Ponadto mogą pracować w szerszym przedziale wilgotności, dzięki temu z powodzeniem są wykorzystywane w zestawach uprawowo-siewnych (Radecki 1986).

System siewu bezpośredniego zapoczątkowany został w połowie lat 60. W Europie Zachodniej i USA, jako wynik syntezy dikwatu i parakwatu. Cechuje go wiele zalet i wad. Zaletami są: niższe nakłady energii, 3-4-krotnie większa wydajność pracy i terminowy siew, przydatny jest w gospodarstwach wielkoobszarowych, w skróconym okresie pomiędzy zbiorem przedplonu a wysiewem rośliny następczej, we wstępnym zagospodarowaniu pól odłogowanych i na glebach podatnych na erozję. Mankamentami siewu bezpośredniego jest głównie: wzrost gęstości gleby, akumulacja substancji organicznej, wzrost zawartości fosforu i potasu w górnej warstwie profilu glebowego oraz jego zakwaszenie. Mankamentem jest również konieczność stosowania większych dawek azotu (o 25%) i norm wysiewu roślin (o 10-15%), jest mało przydatny na glebach lekkich oraz zwięzłych, występuje również możliwość ujemnego oddziaływania resztek pożniwnych na kiełkowanie i wzrost rośliny następczej, następuje powolniejsze ogrzewanie się gleby wiosną, wzrost zachwaszczenia – głównie chwastami wieloletnimi, większe są nakłady na zakup herbicydów, nawozów i nasion (Radecki 1986, Kuś 1998).

Wyniki wielu badań, zarówno krajowych, jak i zagranicznych wskazują, że w sprzyjających warunkach siedliskowych do uprawy roli można bez istotnego spadku plonów wprowadzać wiele uproszczeń, włącznie ze skrajną ich formą, jak siew bezpośredni (direct drilling). Radecki (1986) w swojej pracy cytuje na podstawie literatury, że: „nie ma cenniejszego stwierdzenia w rolnictwie niż: każda uprawa jest złem i nienaturalną operacją. Natura nigdy nie orała ani nie bronowała".

We współczesnym rolnictwie należy kierować się jednak powszechnie znaną zasadą: „Zabiegów uprawowych powinno się stosować tak dużo jak to jest konieczne aby stworzyć uprawianej roślinie korzystne warunki wzrostu i rozwoju, a zarazem tak mało jak to jest możliwe" (Kuś 1998).

Grabiński (1999) pisze, że przeprowadzone dotychczas badania wykluczyły zasadność wprowadzania w warunkach Polski siewu bezpośredniego zbóż w sposób permanentny na danym polu. Metoda ta może być wprowadzona jedynie do pewnej grupy dużych gospodarstw posiadających niezbyt ciężkie gleby. W sytuacji gdy zachodzi potrzeba przyorania obornika lub nawozów zielonych na glebach bardzo ciężkich i lekkich pług jest w warunkach Polski narzędziem niezastąpionym.

2.2. Wpływ uprawy roli na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby

Do głównych zadań stawianych zabiegom uprawowym należy kształtowanie fizycznych właściwości gleby i to w taki sposób, by zapewnić roślinom możliwie najkorzystniejsze warunki wzrostu i rozwoju. Liczba, rodzaj i kolejność uprawek są zależne od aktualnego stanu roli, wymagań rośliny, zachwaszczenia pola, przebiegu pogody, wyposażenia w środki techniczne i wiele innych czynników. Do podstawowych wskaźników fizycznego stanu gleby zalicza się m.in. gęstość objętościową, wilgotność i zwięzłość. Wymienione cechy determinują w dalszej kolejności szereg właściwości agrotechnicznych warstwy uprawnej, a mianowicie jej stosunki powietrzno-wodne, termiczne oraz odporność mechaniczną (zwięzłość), która wpływa na warunki wzrostu i rozwoju korzeni roślin. Badania Dzieni i Sosnowskiego (1989) wykazują, że skrajne uproszczenia uprawy roli, czyli stosowanie siewu bezpośredniego, w porównaniu do uprawy płużnej powoduje wzrost oporów gleby. Marks (1998) udowodnił, że pomijanie niektórych zabiegów uprawowych, zwłaszcza orek, w dłuższym czasie także prowadzi do wzrostu zwięzłości gleby ciężkiej. Takie same efekty przynosi wielokrotne stosowanie maszyn aktywnych.

Innym ważnym parametrem, obrazującym fizyczne właściwości roli jest jej ciężar objętościowy (tzw. gęstość). Porównanie siewu bezpośredniego i uprawy płużnej ujawniło różnice dochodzące nawet do 0,3-0,4 $g \cdot cm^{-3}$; na korzyść uprawy płużnej. Wykazano ponadto, iż zwiększająca się gęstość gleby wtórnie wpływa na jej porowatość ogólną, głównie poprzez zmniejszenie udziału porów kapilarnych i przyrost niekapilarnych, które z kolei wywierają zasadniczy wpływ na stosunki powietrzne uprawianej warstwy (Sienkiewicz 1981).

Nowicki (1982) i Radecki (1986) dowodzą, że gęstość objętościowa gleby ukształtowana przez uprawę nie jest trwała i ulega zmianom podczas wegetacji. Następują one pod wpływem czynników naturalnych (grawitacja, warunki pogodowe, roślina, itp.) lub jako skutek oddziaływania mechanicznego (narzędzia, maszyny, ciągniki).

Ważną właściwością gleby związaną bezpośrednio z jej zagęszczeniem i porowatością, jest wilgotność aktualna. Dzienia i in. (1988) twierdzą, że wprowadzenie uproszczeń w uprawie gleby lekkiej wywołało wzrost wilgotności w warstwie 0-25 cm. Natomiast Baranowski i in. (1988a, 1988b) podają, że przeprowadzona uprawa roli na różnych glebach nie powodowała zmian jej uwilgotnienia.

Równie ważnym fizycznym parametrem gleby, zwłaszcza pod kątem warunków kiełkowania i wschodów roślin jest jej temperatura. Jest to czynnik rzadko analizowany, głównie ze względu na dużą zmienność w czasie. Porównanie

uprawy tradycyjnej i siewu bezpośredniego wykazuje na ogół niższe temperatury gleby w ostatnim obiekcie (Klikocka 2002). Radecki (1986) podaje, że na fakt ten wpływa pozostawienie na powierzchni pola okrywy z resztek zebranej rośliny, często nawet w formie mulczu.

Stosowanie różnych rozwiązań w uprawie roli może skutkować zmianami zawartości w glebie składników pokarmowych oraz ich dostępności (Orzech i in. 2003). Cannell (1985) i Radecki (1986) stwierdzili, że siew bezpośredni do głębokości 5 cm obniżył odczyn gleby z jednoczesnym wzrostem koncentracji substancji organicznej i składników odżywczych, zwłaszcza fosforu i potasu, natomiast w warstwie głębszej (15-25 cm) w porównaniu z uprawą tradycyjną nastąpił ich spadek.

Każda agrotechnologia prowadzi zwykle do zmian dotychczasowego układu, a niekiedy nawet do naruszania równowagi biologicznej i energetycznej danego ekosystemu. Mechaniczna ingerencja, jaką jest stosowana uprawa, w znacznej mierze kształtuje warunki powietrzne w glebie. Intensywne spulchnianie, zdaniem Brodera i in. (1984), wywołuje na ogół wzrost liczebności organizmów aerobowych, co w konsekwencji prowadzi do szybszej mineralizacji materii organicznej. Badania Runowskiej-Hryńczuk (1992) wykazały, że zarówno uprawa bezorkowa, jak i zerowa powodowały wyraźne zmniejszenie liczby bakterii i promieniowców, przy wzmożonym rozwoju grzybów. Ważnym miernikiem aktywności biologicznej gleby jest również obecność oraz koncentracja specyficznych enzymów dehydrogenazy i ureazy, które według Dorana (1975) biorą czynny udział w procesach biochemicznych. W kilkuletnich badaniach cytowany autor wykazał, że w powierzchniowych warstwach gleby aktywność obu substancji jest wyraźnie większa na obiektach z siewem bezpośrednim, a w poziomach głębszych aktywność zmniejsza się. Badania Klikockiej i in. (2003a,b) poświęcone uprawie tradycyjnej i uproszczonej pod ziemniak, wykazały, że uprawa uproszczona wpływała na zwiększenie aktywności dehydrogenazy, lecz wskaźnik żyzności gleby charakteryzowany zawartością bakterii, promieniowców, grzybów, substancji organicznej i pojemnością sorpcyjną nie był istotnie zmieniany sposobem uprawy roli.

Noworolnik (2007) w pracy przeglądowej nad wyborem optymalnych technologii produkcji zbóż zwraca uwagę, że oprócz warunków edaficznych należy w pierwszej kolejności określić czynniki o charakterze stałym (siedliskowe), a następnie dopasować do nich czynniki o charakterze decyzyjnym, jakimi są elementy agrotechniki i odmiany roślin.

2.3. Uprawa roli a plonowanie roślin

Jak podaje literatura plonowanie roślin nie wykazuje jednoznacznej reakcji na stosowaną uprawę roli. Zależy ono od bardzo wielu czynników, między innymi: warunków siedliskowych, nawożenia, wyposażenia technicznego, doboru pestycydów (Krzymuski 1984). Niektóre rośliny (zboża, strączkowe, rzepak, kukurydza) na sprawnych glebach praktycznie nie obniżają plonu, bez względu na stopień wprowadzanych uproszczeń, a więc zarówno pod wpływem uprawy bezorkowej jak i siewu bezpośredniego (Dzienia 1998). Jednakże w gorszych warunkach należy się liczyć ze zmniejszeniem wydajności dochodzącej nawet do 20% (Radecki 1986).

Jednym z najwcześniej stosowanych sposobów uproszczenia roli jest spłycanie orek. W tabeli 2 przedstawiono aktualne zalecenia, co do możliwości spłycania orek (Sommer 1998). Nowicki (1988) wykazał, że spłycanie przez kilkanaście lat orki przedzimowej i siewnej na glebie średniej z 25-30 cm do 12-15 cm tylko nieznacznie wpływało na plonowanie jęczmienia jarego, bobiku i pszenicy ozimej.

Badania nad wpływem siewu bezpośredniego na plonowanie roślin prowadzili Radecki (1986), Dzienia i in. (1995), Sommer (1998). Pozytywne skutki omawianej techniki w kukurydzy i słoneczniku odnotowują Dzienia i in. (1995) oraz Radecki (1986). Nowicki (1979) podaje, że tego typu uproszczenia na tle typowej uprawy mechanicznej spowodowały wyraźny spadek plonów pszenicy ozimej i bobiku. Natomiast Marks (1998) nie stwierdza istotnych różnic w plonowaniu zbóż pod wpływem stosowanej uprawy. Klikocka (2002) badając różne systemy uprawy roli stwierdziła, że sadzenie bezpośrednie bulw w nieuprawioną rolę przed zimą i wiosną powoduje istotny spadek plonowania ziemniaka.

Poza uprawą podstawową w ostatnich latach obserwujemy również tendencję do uproszczeń w zabiegach pożniwnych. Uważa się, że stosowanie pługa podorywkowego z powodzeniem mogą zastąpić agregaty złożone z gruberów i bron strunowych lub sekcji bron zębatych sprzężonych z tymi wałami. Coraz częściej wykorzystuje się brony talerzowe i zestawy wieloczynnościowe. Niektóre badania wskazują, że stosowanie gruberów w stosunku do uprawy pożniwnej może nawet przyśpieszyć o 50% rozkład słomy i resztek korzeniowych. Kultywator bywa też wykorzystywany do zabiegów podstawowych, a także do przedsiewnego doprawiania roli pod różne rośliny, bez wyraźniejszego spadku plonu (Biskupski i Sienkiewicz 1994). Podobną sytuację odnotował Bujak (1988), gdy na rędzinie stosował glebogryzarkę. W badaniach Klikockiej (2005d) rezygnowanie z płużnej uprawy roli na rzecz gruberowania w warunkach gleby lekkiej istotnie obniżało plonowanie pszenżyta jarego.

2.4. Uprawa roli pod ziemniaka

Przeciętne plony ziemniaka uzyskiwane w Polsce nie są wysokie, wynoszą około 20 t świeżej masy bulw z jednego hektara. Stanowi to 25-30% potencjalnych możliwości plonotwórczych tej rośliny (Zarzecka 1997). W dobrych warunkach agrotechnicznych rolnicy otrzymują plony bulw wynoszące 34-45 $t \cdot ha^{-1}$ (Mazurczyk 1994). Zdaniem Dzieżycowej i in. (1997) i Leszczyńskiego (1994) w Polsce o poziomie plonów decyduje współdziałanie jakości i ilości kwalifikowanych sadzeniaków z przebiegiem pogody w okresie wegetacji. Według Mazurczyka (1990), straty plonu bulw wynikające z niedostatku wody sięgają około 25%. Dmowski (1997) ocenia, że na plonowanie ziemniaka w 11% wpływa rejon uprawy, w 20% rodzaj gleby, w 15% rodzaj przedplonu, w 46% termin sadzenia; a suma udziału tych czynników w tworzeniu plonu bulw waha się od 16,9 do 21,7%. Boligłowa (1995) do czynników plonotwórczych zalicza jeszcze nawożenie organiczne, mineralne i zmianowanie, a Klikocka (2004a) nawożenie siarką. Ceglarek i Zarzecka (1999) wskazują na możliwość zastosowania w uprawie ziemniaka wsiewek poplonowych, jako czynnika zwiększającego plonowanie tej rośliny. Natomiast Starczewski i Turska (1998) uważają, że ziemniak uprawiany na oborniku jest rośliną mało wymagającą w stosunku do przedplonu. Chmielnicki (1987) dodaje, że ważnym czynnikiem jest również głębokość sadzenia i kształt redliny, a Pomykalska (1986) wskazuje wielkość sadzeniaków. Zdaniem Pałysa (1998) ziemniak wymaga gleb niezbyt zwięzłych o wysokiej kulturze, zasobnych w składniki pokarmowe, o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym. Leszczyński (1994) twierdzi, że można go uprawiać na glebach bardzo lekkich i suchych oraz zbyt ciężkich i mało przewiewnych, bowiem plonuje lepiej na każdej glebie, niż inne rośliny uprawne. Rykaczewska (1989) badając skład granulometryczny gleby stwierdziła, że w warunkach gleby zwięzłej wzrastał udział frakcji bulw powyżej 60 mm, a na glebie lżejszej większy udział stanowiła frakcja bulw sadzeniaków. Campbell (1976) wskazuje na zależność plonowania ziemniaka od stanu zgruźlenia gleby. Starczewski i in. (1984) stwierdzili, że plon bulw ziemniaka jest ograniczany przez zwięzłość gleby. Grimes i Bishop (1971) podają, że plon bulw i ich liczba zależą istotnie dodatnio od ilości powietrza w glebie, natomiast ujemnie od gęstości objętościowej gleby. Borowiec (1973) stwierdził, że uprawa płużna powoduje nieznaczne różnice w ciężarze objętościowym, porowatości ogólnej, aktualnej zawartości powietrza glebowego i zwięzłości, ale zmiany te nie warunkują istotnie plonowania ziemniaka. Według Bonne i in. (1978) zbyt duże zagęszczenie gleby, szczególnie podeszwa płużna, przyczynia się do znacznego hamowania wzrostu części nadziemnej i systemu korzeniowego ziemniaka, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia wielkości plonu.

Ziemniak jest rośliną, która wymaga wysokiej kultury i sprawności roli. Najlepiej plonuje na glebach przewiewnych, pulchnych, starannie doprawionych i odchwaszczonych. Stan taki można osiągnąć poprzez stosowanie właściwej uprawy roli, na którą w systemie tradycyjnym składają się uprawki: pożniwne, przedzimowe i wiosenne.

W systemie tradycyjnym, pierwszym zabiegiem uprawowym pod ziemniak powinna być podorywka. Należy ją przeprowadzać na głębokość 8-12 cm, a przy wysokich ścierniskach i na glebach zwięzłych gliniastych, pogłębiać do 15 cm. Podorywkę należy pielęgnować broną zębatą, talerzową lub kultywatorem z broną. Zabiegi powtarzać 2-3-krotnie (Jabłoński 2006). Zdaniem Świętochowskiego i Sienkiewicza (1970) nie należy skracać uprawy pożniwnej, bowiem stwarza ona korzystniejsze warunki do plonowania ziemniaka. Jednak zdaniem Bujaka (1996) podorywkę płużną, można zastąpić drapaczowaniem, gryzowaniem, lub tylko opryskiwaniem pola z zastosowaniem Gramoxone. Jednocześnie Bujak (1996) wskazuje na tendencję wzrostu zachwaszczenia łanu ziemniaka w wyniku uproszczenia pożniwnej uprawy roli. Dlatego też, na polach zaperzonych, po głębokiej podorywce niezbędne jest wykonanie zabiegów mechanicznych bądź chemicznego zwalczania perzu (Bujak 1996, Pałys 1998). Dzienia i Szarek (2000) zalecają, aby pod podorywkę, w przypadku stosowania uprawy uproszczonej wysiać międzyplony lub wnieść słomę.

Przedzimowe uprawki pod ziemniaka na glebach średnich i zwięźlejszych należy łączyć z nawożeniem fosforem i potasem oraz stosowaniem obornika (Gruczek 1994). Po roślinach późnego zbioru i okopowych, zabiegi jesienne można ograniczyć do kultywatorowania, talerzowania i orki przedzimowej. Orkę przedzimową, z równoczesnym przyoraniem nawozów mineralnych i obornika, powino się wykonywać pługiem z przedpłużkiem na głębokość 30-35 cm (Czuba i Sienkiewicz 1987, Włodek i in. 1998). Roszak (1997) opisując zespół uprawek przedzimowych, proponuje aby po przeprowadzeniu uprawek pożniwnych rozwieźć wcześnie obornik i natychmiast przyorać go orką średnią – odwrotką (ok. 15 cm). Następnie orkę tę należy zabronować lub zawałować wałem kolczatką, a kiedy rola osiądzie wykonać orkę głęboką. Laskowski i Zbieć (1965) uważają, że orka pogłębiona wpływa korzystnie na stosunek zawartości kwasów fulwonowych i huminowych w próchnicy glebowej, co w następstwie decyduje o wzroście plonu ziemniaka. Według tych autorów głównie gleby lekkie, charakteryzujące się z natury gorszymi właściwościami fizycznymi, chemicznymi i płytszą warstwą orną, wykazują większą potrzebę pogłębiania orek. Odmiennego zdania jest Żurawski i in. (1986), którzy twierdzą, że pogłębienie orki pod okopowe wywiera niewielki wpływ na plon, a niekiedy przyczynia się do jego obniżenia. Na

glebach o płytkiej warstwie akumulacyjnej, nalezy orać płycej, na głębokość do 25 cm (Boone i in. 1978, Chmielnicki 1987). Laskowski i Zbieć (1965) zalecają bronowanie orki przedzimowej, bowiem wzrasta wtedy aktualna wilgotność gleby i pełna pojemność wodna. Jednocześnie twierdzą, że orka ze skibą wysztorcowaną sprzyja tworzeniu korzystniejszej struktury roli. Wesołowski i in. (1996) odradzają eliminowanie niektórych zabiegów uprawowych, a zwłaszcza orki. Ich zdaniem, w tym przypadku zmniejszeniu ulegają plony ziemniaka, gdyż w górnych warstwach gleby gromadzi się substancja pokarmowa i organiczna, a rola staje się zbytnio zagęszczona i dochodzi do zwiększenia ogólnego zachwaszczenia i niekorzystnych zmian w składzie botanicznym chwastów. W wielu krajach na glebach ciężkich, skłonnych do zbrylania, ostatnim zabiegiem uprawowym w okresie jesiennym jest formowanie redlin pod ziemniaka. Na dobrze przygotowanej i wynawożonej glebie wyznacza się obsypnikiem redliny, o wysokości 20 -25 cm. Uformowanie jesienią redlin powoduje przyspieszenie ich obsychania i ogrzewania wiosną, zwiększenie porowatości i większe gromadzenie wilgoci oraz dotrzymanie optymalnego terminu sadzenia. Ziemniak sadzony jest sadzarkami bezpośrednio do redlin na głębokość 10-12 cm, a ciągnik porusza się bruzdami nie ugniatając uprawionego pola. Przy takim sposobie uprawy uzyskuje się wyższe plony bulw, przy zbiorze jest dużo mniej bulw uszkodzonych i osiąga się wyższą wydajność sadzarki (Galiën 1966, Hunnius i Bachthaler 1975, Demmler 1995, Spiess 1994). W Polsce metodę jesiennego formowania redlin, jako proekologiczną – na glebach zwięzłych, mających tendencję do zbrylania i położonych w rejonach podgórskich i górskich stosował Marks (1994, 1996). Natomiast na glebach lekkich i średnich w rejonach nizinnych Klikocka (2002) i Jabłoński (2006). W latach 90. zalecano mulczowanie letnio-jesiennych redlin: gorczycą białą (*Sinapis arvensis)*, rzepikiem ozimym (*Brassica campestris* L. var. *oleifera),* rzodkwią oleistą (*Raphanus sativus* L., var. *oleiferus),* facelią błękitną *(Phacelia)* bądź wyką ozimą (*Vicia villosa).* Ma to na celu ograniczenie erozji gleby oraz stabilizację w niej składników pokarmowych, a szczególnie związków azotu (Neubauer (1997). Podobne wyniki otrzymali Klikocka i Spiess (2002). Häge (1993) zaproponował także mulczowanie redlin na okres zimowy słomą.

Na wiosnę, pierwszym zabiegiem powinno być włókowanie lub bronowanie kruszące skorupę, przerywające parowanie i przyśpieszające ogrzewanie gleby. Następnie, po wysiewie nawozów mineralnych na glebach lekkich, należy spulchnić rolę za pomocą kultywatora i wału strunowego lub kultywatora i brony zębowej. Z badań Borowca (1973) wynika, że zastosowanie w uprawach wiosennych kultywatora, pługa lub pługofrezarki na roli zaoranej głęboko jesienią, nie powodowało wzrostu plonu ziemniaka. Odmiennego zdania jest Jabłoński (2006),

który stwierdził, że uproszczenie uprawy roli w niewielkim stopniu wpłynęło na plon ziemniaka, lecz istotne różnice wystąpiły na obiektach z zaniechaniem uprawy wiosennej. Z badań Starczewskiego i in. (1984) wynika, że stosowanie zabiegów spulchniających przed sadzeniem ziemniaka podwyższa plon zaledwie o 2-3%, a niekiedy nawet może przyczynić się do jego obniżenia. Dlatego też, po silnym spulchnieniu gleby wiosną stosowanie uprawy międzyrzędowej ziemniaka, na polach wolnych od chwastów jest zbędne. Gdy na wiosnę stosuje się obornik oraz uprawia ziemniak na glebach zwięzłych i podmokłych, można wyjątkowo wykonać orkę wiosenną na głębokość 18-20 cm. Pług powinien być wtedy zagregatowany z narzędziem doprawiającym (broną zębową, kolczatką lub wałem Campbella i kolczatką). Pomykalska (1986) przestrzega przed wykonywaniem orki wiosennej, ponieważ powoduje to wzrost liczebności chwastów w fazie wschodów ziemniaka. Oprócz omówionej tradycyjnej uprawy roli pod ziemniak, istnieje tendencja wprowadzania na szeroką skalę bezorkowych systemów, z zastosowaniem glebogryzarek, bron talerzowych, lub kultywatorów, a nawet uprawy zerowej czyli sadzenia bezpośredniego w nieuprawioną rolę.

Już w latach 1931-34, Lombard (1936) w USA sprawdził, jak plonuje ziemniak w warunkach roli uprawianej tradycyjnie i w warunkach stosowania metody bezorkowej, gdzie orkę zastąpiono kilkukrotnym wiosennym obredlaniem. W latach późniejszych, przeprowadzono wiele badań nad modyfikacją i uproszczeniem uprawy roli pod ziemniaka. W Polsce badania takie prowadzili: Boligłowa i Dzienia (1996), Bujak (1996), Dzienia i Szarek (2000), Klikocka (2002), Jabłoński (2006). Przegląd badań zagranicznych na temat metod uprawy roli opisuje szeroko Klikocka (2002).

Jabłoński (1997) oraz Spiess i Heusser (1995) zwracają uwagę na uprawę zagonową, która w krajach Europy zyskuje coraz więcej zwolenników. Została ona zapoczątkowana w 1980 roku w Anglii i USA, jako alternatywna dla uprawy ziemniaka w szerokich redlinach (90 cm). Marks (1996) proponuje, aby w uprawie pasowej na zagonach wykonanych jesienią bądź też wiosną, jednocześnie zastosować nawożenie organiczne (obornik, kompost) i sadzić ziemniaka, specjalnie zaadaptowaną ku temu celowi sadzarką. Marchand (1984) na glebach piaszczystych proponuje wczesnowiosenne formowanie redlin w połączeniu z nawożeniem azotem, za pomocą zagregatowanego rozsiewacza nawozów i obsypnika. Bramm i Sourell (1990) twierdzą, że uprawa ziemniaka w redlinach jest nieodzowna i sprzyja wyższemu plonowaniu rośliny. Klikocka (2002) i Jabłoński (2006) podają, że stosowanie uproszczeń w uprawie roli pod ziemniaka, pomimo obniżenia plonu bulw w niektórych wariantach jest uzasadnione ekonomicznie, bowiem rezygnacja z wysokonakładowej orki przedzimowej na rzecz formowania redlin, gruberowania, lub pielęgnacji chemicznej w pełni rekompensuje obniżkę plonu.

2.5. Uprawa roli pod pszenżyto jare

Jaśkiewicz (2009) podaje, iż uzyskiwane w kraju plony pszenżyta są stosunkowo niskie, wahają się od 2,50 do 3,54 $t \cdot ha^{-1}$. Oprócz warunków pogodowych o zróżnicowaniu plonu decydowały również procesy ekstensyfikacji produkcji, odznaczające się prawie dwukrotnie mniejszym zużyciem nawozów mineralnych i środków ochrony roślin. Natomiast w doświadczeniach odmianowych COBO-RU w Słupi Wielkiej, w warunkach starannej agrotechniki i optymalnego zużycia nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, otrzymywano w analizowanym okresie ponad dwukrotnie większe niż w produkcji plony ziarna pszenżyta jarego (5,6 $t \cdot ha^{-1}$).

Na plonowanie pszenżyta wpływają różne czynniki. Budzyński i Szempliński (2003) podają, że na cechy anatomiczne i morfologiczne pszenżyta wpływają głównie czynniki klimatyczne: opady, światło i temperatura. Światło ponadto wpływa na wytwarzanie produktywnych pędów bocznych. Wymagania termiczne pszenżyta jarego są zbliżone do wymagań pszenicy jarej. Optimum termiczne w początkowych okresach rozwoju wynosi 6-8°C. W okresie strzelania w źdźbło odpowiednia temperatura wynosi 12-14°C, natomiast po zawiązaniu ziarniaków, aż do etapu dojrzałości woskowej odpowiednia temperatura to 16-17°C. Wysoka temperatura w fazie dojrzewania powoduje skrócenie tej fazy, co wiąże się z gorszym wypełnieniem ziarna, a w efekcie z niższym plonem. Optymalne ilości opadów dla pszenżyta jarego to około 30-40 mm w kwietniu oraz około 60 mm przez resztę okresu wegetacji. Okres największej wrażliwości na suszę obejmuje fazy krzewienia, strzelania w źdźbło i kłoszenia oraz rozwoju i wypełniania ziarniaków. Niedobór wody w glebie przyśpiesza kłoszenie.

Pszenżyto jare plonuje lepiej na glebach kompleksu żytniego bardzo dobrego. Niekorzystna reakcja pszenżyta na pogorszenie jakości gleby jest mniejsza w porównaniu do pszenicy i jęczmienia, co wynika z jego wyższej tolerancji na niższe pH gleby (Mazurek i Mazurek 1990). Zatem pszenżyto jare powinno być uprawiane na glebach kompleksu żytniego bardzo dobrego i żytniego dobrego. Możliwa jest także uprawa na glebach kompleksu żytniego słabego, pod warunkiem, że gleby te są w wysokiej kulturze. Kuś i in. (1992) stwierdzili, że znaczenie pszenżyta wzrasta z uwagi na duży udział w kraju gleb piaszczystych (ponad 60% gruntów ornych), nieodpowiednich dla pszenicy i jęczmienia.

Budzyński i Szempliński (2003) twierdzą, że dobór właściwego stanowiska ma bardzo istotny wpływ na plonowanie pszenżyta. Plony maleją w miarę zwiększania udziału zbóż w zmianowaniu. Krótkotrwała monokultura zbożowa powoduje obniżenie plonu o 18-20%. Spośród zbóż najlepszą wartość przedplonową dla pszenżyta wykazuje kukurydza i owies, a następnie jęczmień. Pszenica i żyto są fitosanitarnie niekorzystnymi przedplonami, najmniej właściwa jest uprawa

pszenżyta po sobie. Spadek plonu wywołany jest mniejszą masą tysiąca ziaren oraz zmniejszeniem obsady kłosów. Rośliny zbożowe mają niekorzystny wpływ na właściwości fizyczne gleby oraz na jednostronne wykorzystanie składników pokarmowych z gleby (Mazurek i Kuś 1985, Koc i Domska 1993). Najlepszym przedplonem dla pszenżyta są rośliny okopowe, uprawiane na oborniku, łubin żółty, wyka ozima i seradela, uprawiane na glebach lekkich. Po roślinach motylkowatych zwyżka plonu może dochodzić nawet do 20% (Koc i Domska 1993).

Za jeden z podstawowych czynników ograniczających plon pszenżyta jarego uważa się niekorzystne właściwości fizyczne gleby (Michalski 1993). Zalicza się do nich nadmierne ugniecenie gleby, spowodowane używaniem ciężkiego sprzętu mechanicznego oraz częstym wykonywaniem zabiegów uprawowych. Michalski (1993) w swoich doświadczeniach dowodzi, iż takie zabiegi jak bronowanie posiewne obniża plon pszenżyta jarego. Powodem tego są w naszym klimacie susze wiosenne, szczególnie w warunkach gdy do uprawy przedsiewnej stosowane są niewłaściwe narzędzia: kultywatory oraz inne głęboko działające urządzenia. Niepożądane skutki takiej uprawy są szczególnie widoczne na glebach lekkich. Ponadto duża liczba przejazdów maszynami rolniczymi wykonywanych w późniejszych fazach rozwojowych pszenżyta przyczynia się do ograniczania intensywności krzewienia produktywnego i liczby ziaren w kłosach rosnących przy ścieżkach przejazdowych, a tym samym na zmniejszenie plonu.

Pszenżyto jare, podobnie jak wszystkie rośliny zbożowe wymaga umiejętnej i starannej uprawy roli. Dobre doprawienie gleby sprzyja wzrostowi i rozwojowi roślin oraz umożliwia wykorzystanie składników nawozowych. Uprawa roli to jeden z podstawowych czynników, decydujących o możliwości uzyskania dużych i stabilnych plonów. Stwarza ona warunki do osiągania szybkich i wyrównanych wschodów oraz łanów o odpowiedniej zwartości (Klikocka 1999). Uprawa roli zależy od długości okresu, jaki upływa od zbioru przedplonu do nadejścia zimy. Jeżeli przedplon wcześnie schodzi z pola, można wykonać podorywkę i zabiegi pielęgnacyjne, natomiast na glebach wolnych od chwastów możemy zastosować uprawę poplonu na przyoranie (Mazurek i Mazurek 1990). Według Nieróbcy (2002) zadaniem uprawy pożniwnej jest niszczenie chwastów i samosiewów roślin przedplonowych, przykrycie i wymieszanie z glebą resztek pożniwnych oraz poprawa kultury i sprawności roli. Zestaw zabiegów uprawowych jest zróżnicowany w zależności od przedplonu. Po przedplonach wcześnie schodzących z pola (zboża) należy przeprowadzać: wapnowanie (stosować przy pH niższym niż 5,5), podorywkę z bronowaniem, bronowanie pielęgnacyjne i orkę zimową. Po przedplonach późno schodzących z pola (okopowe, kukurydza) należy stosować: talerzowanie lub bronowanie i orkę przedzimową, a po roślinach okopowych orka może być spłycona do 15-18 cm.

Jeśli przedplon zbiera się w lipcu lub w sierpniu, to do przeprowadzenia orki przedzimowej zostaje dość czasu, który powinno się wykorzystać na glebach zachwaszczonych na wykonanie podorywki i zabiegów pielęgnacyjnych (bronowania), natomiast na glebach wolnych od chwastów (zwłaszcza rozłogowych) na uprawę poplonów przeznaczonych na przyoranie. Uprawa pszenżyta jarego po roślinach późno schodzących z pola ogranicza jesienne zabiegi uprawowe do orki zimowej. Jej głębokość uzależniona jest od rodzaju przedplonu. Po roślinach okopowych powinna być wykonana na głębokość 15-20 cm, natomiast po wieloletnich motylkowatych jej głębokość powinna wynosić 25-30 cm. Upraszczanie uprawy przedzimowej do bronowania lub kultywatorowania nie jest wskazane, bowiem wpływa na zmniejszenie obsady kłosów, a w wyniku tego istotnie ogranicza plonowanie pszenżyta jarego (Klikocka 1999). Orkę przedzimową dobrze jest wykonać niezbyt późno, najlepiej w październiku (Mazurek i Mazurek 1990). Budzyński i Szempliński (2003) podają, że po ziemniaku, częstym przedplonie pszenżyta jarego, wystarcza orka przedzimowa wykonana w październiku bądź na początku listopada na średnią głębokość 18-22 cm i pozostawienie jej w ostrej skibie. Duża masa łętów, najczęściej pozostająca po ziemniaku późnym, powinna być starannie przykryta przez skiby. Upraszczanie uprawy przedzimowej po okopowych do bronowania lub kultywatorowania nie jest wskazane (Mazurek i Mazurek 1990). Budzyński i Szempliński (2003) podają, że uproszczona uprawa roli po ziemniaku polega na skruszeniu warstwy roli przy użyciu grubera lub lekkiego głębosza bez odwracania gleby. Łęty muszą być wcześnie zebrane z pola, bądź wcześniej drobno pocięte i równomiernie rozrzucone na polu. Tak spulchniona gleba dobrze zatrzymuje wodę, nie zubaża mikroflory i mikrofauny glebowej oraz wydaje odpowiedni plon (najczęściej taki jak w warunkach uprawy klasycznej z orką przedzimową). Po przedplonie pozostawiającym słomiaste resztki pożniwne (zboża, seradela, łubin), należy wykonać płytką podorywkę pielęgnacyjną i kilkakrotnie użyć brony niszczącej siewki kiełkujących chwastów. Podorywka głębsza (na 10-12 cm), jest niezbędna tylko wtedy, gdy istnieje potrzeba pozbycia się rozłogów chwastów, ich wysuszenia i wyciągnięcia sprężynowymi łapami kultywatora. W wersji energooszczędnej można zastosować talerzowanie, które miesza resztki pożniwne z glebą, ułatwia kiełkowanie samosiewów i chwastów nasiennych oraz przyśpiesza rozkład resztek pożniwnych. Po wieloletnich roślinach motylkowatych powinno się zwiększyć głębokość orki przedzimowej do 25-30 cm (Budzianowski i Milewski 1999).

Wiosenną uprawę roli rozpoczyna się włókowaniem lub bronowaniem. Wykonanie tych zabiegów zmniejsza parowanie i przyśpiesza ogrzewanie się gleby. Następnie najkorzystniej jest wykorzystać zestaw uprawowy składający się z kultywatora o wąskich łapach i wału strunowego lub brony ciężkiej i wału strunowego. Zaletą takiego zestawu jest możliwość przygotowania roli do siewu po jednym

przejeździe roboczym. Wał strunowy zagęszcza warstwę gleby tuż pod powierzchnią, co sprzyja umieszczaniu wysiewanego ziarna na jednakowej głębokości. Termin rozpoczęcia uprawek wiosennych uzależniony jest od uwilgocenia gleby (Mazurek i Mazurek 1990, Budzianowski i Milewski 1999). Według Nieróbcy (2002) wiosenne zabiegi uprawowe mają zapewnić roślinom jarym jak najkorzystniejsze warunki wzrostu (właściwą strukturę, odpowiednią temperaturę gleby) i pozwalają zmagazynować jak najwięcej wody. Budzianowski i Milewski (1999) twierdzą że wiosenne zabiegi uprawowe należy rozpocząć wówczas, kiedy pozwalają na to warunki wilgotnościowe gleby. Uprawa roli zbyt wilgotnej prowadzi do jej nadmiernego zbicia, co utrudnia wschody i rozwój roślin pszenżyta. Budzyński i Szempliński (2003) wskazują, że wiosenną uprawę należy rozpocząć możliwie najwcześniej, gdy narzędzia nie będą pogarszać struktury gleby. Zasadą jest uprawa płytka (nie głębsza niż 5 cm).

Starczewski i in. (1995) w trzyletnim doświadczeniu polowym porównywali pięć sposobów przedsiewnej uprawy roli pod pszenżyto jare: I – włóka, kultywator 18-20 cm, brona; II – włóka, kultywator 10-12 cm, brona; III – włóka, IV – wał Campbella i pierścieniowy (1 raz); V – wał Campbella i pierścieniowy (3 razy), brona. Na podstawie badań stwierdzili, że wymienione sposoby przedsiewnej uprawy roli nie miały istotnego wpływu na wschody roślin, plon ziarna i jego strukturę (z wyjątkiem liczby ziaren w kłosie) oraz na plon słomy. Natomiast te zróżnicowane sposoby przedsiewnej uprawy roli modyfikowały właściwości fizyczne gleby (zwięzłość, gęstość, wilgotność i porowatość kapilarną). Natomiast badania Czarnockiego i in. (2006) dowodzą, że wykonywanie orki razówki tuż po zbiorze przedplonu jest wskazane w agrotechnice pszenżyta. W innych badaniach nad pszenżytem jarym Starczewski i Czarnocki (2004) najwyższy plon ziarna pszenżyta uzyskali w uprawie tradycyjnej. Zbyt radykalne uproszczenia w uprawie roli powodowały znaczny spadek plonu. Dzienia i in. (1994) również dowodzą, iż uproszczenia w uprawie gleby powodują wyraźne zmniejszenie plonu ziarna pszenżyta. Zmniejszenie plonu wynosiło 7% po zastosowaniu podorywki kultywatorem ścierniska oraz 10% po zastosowaniu orki „razówki" lub glebogryzarki, daleko idące uproszczenia powodowały istotny spadek plonu ziarna sięgający 14% na obiektach, na których zastosowano kultywator z wałem strunowym – w porównaniu z uprawą tradycyjną. Podobnie z badań Wróbla i Budzyńskiego (1994) wynika, że uproszczenia w agrotechnice powodowały istotną obniżkę plonu ziarna pszenżyta. Również z badań Klikockiej (1999) wynika, że uproszczenia w uprawie roli (zaniechanie zabiegów płużnych) wpływają na obniżenie plonu ziarna, głównie poprzez obniżenie obsady kłosów. Mazurek i Mazurek (1987) podają, że uprawa roli w mniejszym stopniu wpływa na masę 1000 ziaren, która to w większym stopniu uzależniona jest od układu warunków pogody w okresie dojrzewania pszenżyta niż od podstawowych czynników agrotechnicznych.

Aby osiągnąć wysokie plony pszenżyta jarego należy zastosować do siewu nasiona dobrej jakości. Powinno się używać wyłącznie ziarna o znanym pochodzeniu, czystości nie mniejszej niż 98%, zdolności kiełkowania nie mniejszej niż 95%, dobrej zdrowotności i MTZ w granicach 39-40 g (Nieróbca 2002, Budzianowski i Milewski 1999). Ważnym czynnikiem mającym wpływ na plon pszenżyta jarego jest termin siewu. Przestrzeganie wczesnego terminu siewu jest szczególnie ważne przy uprawie pszenżyta na glebach lżejszych (Budzianowski i Milewski 1999). Najwyższe i najwierniejsze plony otrzymuje się przy siewie możliwie najwcześniejszym, gdy pozwala na to stan roli. Pszenżyto jare wcześnie zasiane rozwija silny system korzeniowy, dzięki któremu jest wyjątkowo wytrzymałe na niesprzyjające warunki atmosferyczne. Silnie rozwinięty system korzeniowy pozwala na intensywne pobieranie składników pokarmowych i umożliwia korzystanie z zapasów wody z głębszych warstw gleby. Pszenżyto jare jest rośliną dnia długiego, o silnie zaznaczonym fotoperiodyzmie. Wskutek tego opóźnienie siewu bardzo silnie redukuje krzewienie produkcyjne, ograniczając zagęszczenie kłosów na jednostce powierzchni gleby, co w konsekwencji powoduje obniżkę plonu (Mazurek i Mazurek 1990). Pszenżyto jare cechuje się stosunkowo słabą krzewistością i dominacją pędu głównego nad bocznymi (Stankowski 1994). Obsada kłosów oraz dorodność kłosów i ziarna podlegają doraźnemu wpływowi warunków wodnych (Koziara 1996, Michalski 1993). Na opóźnienie terminu siewu pszenżyto reaguje obniżką plonu ziarna przez zmniejszenie liczby uformowanych kłosów na 1 m^2 (Starczewski i in. 1995). Wówczas krzewienie produktywne jest słabsze, zmniejsza się zawartość pędów kłosonośnych, dochodzi do zróżnicowania elementów kłosa i w efekcie do zmniejszenia liczby ziaren w kłosie. W przypadku opóźnionego siewu o 10-12 dni wysiew nasion należy zwiększyć o 10% (Rudnicki i in. 1997). Skutków opóźnionego terminu siewu nie da się wyeliminować przez intensywniejsze nawożenie azotem (Mazurek i Mazurek 1990). Piech i Stankowski (1986) stwierdzili, że spadkowi plonowania wywołanemu opóźnionym siewem nie można przeciwdziałać poprzez zwiększenie ilości wysiewu, ponieważ duże zagęszczenie łanu powoduje zmniejszenie liczby ziaren w kłosie, ich słabsze wypełnienie oraz większą skłonność do wylegania. Dlatego należy wysiewać optymalną ilość ziaren, tj. 450-650 ziarniaków na 1 m^2 (Mazurek i Rybicki 1988, Mazurek i Mazurek 1990). Nieróbca (2002) wykazał, że taki siew gwarantuje zmniejszenie zachwaszczenia oraz zwyżkę plonu. Zaleca się wysiew nasion w rozstawie 10-13 cm, na głębokość 2-4 cm. Stankowski (1994) dowiódł, że zwiększenie głębokości siewu przyczynia się do obniżenia plonu, spowodowanego zmniejszeniem się obsady roślin po wschodach. Natomiast siew wykonany płycej powoduje wypadanie roślin w okresie wschody – zbiór. W warunkach właściwej agrotechniki liczba roślin na 1 m^2 po wschodach w stosunku do wysianych ziaren powinna wynosić 90-95%. W fazie krzewienia optymalna obsada roślin wynosi 450-540 roślin na

1 m^2. Procesy samoregulacji zachodzące w łanie powodują, że liczba roślin na 1 m^2 w fazie strzelania w źdźbło wynosi 400-500 roślin. Wysoki plon ziarna można uzyskać z łanu o obsadzie 450-500 kłosów na 1 m^2. Taka obsada gwarantuje także uzyskanie dobrej produkcyjności kłosa (27-30 ziaren z kłosa, 39-40 g MTZ), przy długości kłosa 8 cm i wysokości rośliny 103,5 cm. Średni plon ziarna z 1 ha wynosi 4,5-5,5 $t \cdot ha^{-1}$, a słomy 4,0-4,5 $t \cdot ha^{-1}$ (Nieróbca 2002).

Reasumując można stwierdzić, że stosowanie pełnej, tradycyjnej uprawy roli stwarza najlepsze warunki dla plonowania pszenżyta jarego. Stosowanie uproszczeń w uprawie roli (zastąpienie orki jesiennej kultywatorwaniem, pomijanie wiosennego bronowania) może być uzasadnione ze względów organizacyjnych, gdyż charakteryzuje się mniejszą pracochłonnością i nakładochłonnością, ale w konsekwencji daje duży mniejszy wynik finansowy z powodu obniżki plonu (Klikocka 2005d).

2.6. Ekonomiczna i energetyczna ocena uprawy roli i roślin

Uprawa roli może stworzyć poważną szansę zwiększenia wydajności pracy i obniżenia kosztów produkcji (Biskupski i Sienkiewicz 1994, Gonet i Zaorski 1988, Klikocka 2006). Cytowani autorzy zwracają uwagę na konieczność poszukiwania kompromisu między nakładami ponoszonymi na uprawę roli, a uzyskanymi efektami. Z badań Dzieni i in. (1994) wynika, że w zależności od gatunku rośliny, aż 40-70% energii zużywanej w całym cyklu produkcji przypada właśnie na uprawę roli. Spośród wszystkich czynności uprawowych najbardziej pracochłonna jest orka. Według Dzieni i Sosnowskiego (1990) oraz Goneta (1992) pochłania ona 25-40% całkowitych nakładów robocizny i nawet do 50% paliwa zużytego w procesie produkcji. Gonet i Zaorski (1988) eksperymentalnie ustalili, że podczas orki na glebach lekkich i bardzo lekkich zużycie paliwa może być w stosunku do gleb ciężkich mniejsze nawet o 50%, przy czym zwiększa się ono o 0,2 $l\ dm^3 \cdot ha^{-1}$ na każdy 1% wzrostu zawartości części spławianych w glebie.

Dzienia i Sosnowski (1990) podają, że jednorazowe odstąpienie od zespołu uprawek pożniwnych, np. pod jęczmień ozimy stwarza możliwość zredukowania nakładów poniesionych na całokształt uprawy o 40%, przy spadku plonu nieprzekraczającym 10%. Według cytowanych autorów wprowadzanie uproszczeń także do zabiegów przedsiewnych (m.in. poprzez wykorzystanie maszyn aktywnych, a zwłaszcza stosowania siewu bezpośredniego) zapewnia dalsze obniżenie kosztów, które może osiągnąć aż 80%, przy nieznacznym spadku plonu (o 2-7%). Różnice pomiędzy porównywalnymi sposobami uprawy roli szczególnie widoczne są w zużyciu paliwa i pracochłonności (tab. 3).

Biskupski i in. (1997) twierdzą, że wartość uzyskanych oszczędności w zużyciu paliwa i pracochłonności systemów uproszczonych w porównaniu z tradycyjnym systemem uprawy roli jest wielokrotnie mniejsza od poniesionych strat w plonach.

Przeglądowa praca Pudełki i in. (1994) wykazuje, że również w USA wprowadzenie uproszczeń, a zwłaszcza siewu bezpośredniego przynosiło różne efekty ekonomiczne. Zwraca się w niej uwagę, iż w końcowym bilansie technik uproszczonych decydują przede wszystkim nakłady poniesione na kupno specjalistycznych siewników, nawozów i herbicydów, zaś w uprawie konwencjonalnej na energię i robociznę (Dzienia i Sosnowski 1990, Gonet i Zaorski 1988).

Tabela 3. Zużycie paliwa i pracochłonność porównywanych sposobów uprawy roli pod rośliny ozime (Dzienia 1998)
Table 3. Fuel and labour consumtion of soil tillage methods for winter plants (Dzienia 1998)

Sposób uprawy roli Methods of soil tillage	Zużycie paliwa Fuel consumption ($dm^3\ ha^{-1}$)	Pracochłonność Labour consumption ($h\ ha^{-1}$)
Tradycyjny – Traditional	25,8	3,16
Bezpłużny zestaw uprawowy – bierny No-till cultivation set – passive	12,7	1,00
Bezpłużny zestaw uprawowy – czynny No-till cultivation set – active	24,0	1,69
Siew bezpośredni – Direct sowing	18,0	1,66

Nakłady na produkcję 1 ha ziemniaków w Polsce wynoszą 85-158 rbh, w krajach zachodnich kształtują się w granicach 40-50 rbh (Beres 1993). Tak duża różnica wynika przede wszystkim ze sposobu zbioru ziemniaka (Szeptycki 2003). Mechaniczna uprawa roli charakteryzuje się na ogół dużą pracochłonnością, z tych względów poszukuje się efektywnych sposobów uproszczeń w uprawie roli (Harasim i in. 2007). Nakłady na produkcję 1 ha pszenżyta jarego wynoszą natomiast 16 rbh (Klikocka 2005d). Zdaniem Beresa (1993), Czyż i in. (1995) oraz Jabłońskiego i Bernata (2002) uprawa roli pod ziemniaka pochłania 25-40% całkowitych nakładów na produkcję roślinną. Klikocka (2000, 2001) oraz Jabłoński (2006) wykazali, że koszty uprawy roli pod ziemniaka stanowiły od 24 do 70% kosztów tradycyjnej uprawy z podorywką, orką przedzimową i zabiegami wiosennymi. Klikocka (2004c) twierdzi również, że stosowanie uprawy zachowawczej pod ziemniaka (mulczowanie redlin letnich i jesiennych gorczycą białą)

w połączeniu z nawożeniem siarką jest ekonomicznie uzasadnione w stosunku do uprawy konwencjonalnej i bez nawożenia S.

Efektywność ekonomiczną produkcji ziemniaka jadalnego w wybranych gospodarstwach badał Dobek (2006a). Wykazał że efektywność ekonomiczna produkcji ziemniaka różniła się znacząco w zależności od stosowanej technologii.

Efektywność produkcji pszenżyta jarego w zależności od technologii produkcji badała Klikocka (2005d). Stwierdziła, że koszt uprawy płużnej w uprawie tradycyjnej stanowił około 10% kosztów bezpośrednich, natomiast stosowanie kultywatora jesienią zamiast pługa obniżyło koszty uprawy roli, ale nie rekompensowało spadku plonu. W efekcie wskaźnik opłacalności był o dużo korzystniejszy po zastosowaniu płużnej uprawy roli.

Metodę oceny ekonomicznej w produkcji roślinnej szeroko opisuje w swojej pracy Kamionka (2005). Analiza kosztów eksploatacji zestawów maszyn oparta jest na metodach obliczania kosztów przyjętych przez IBMER (Muzalewski 2005), które są zbieżne z metodami stosowanymi w warunkach belgijskich i szwajcarskich (Kamionka 2005).

Szczegółową metodykę obliczania kosztów utrzymania, amortyzacji, przechowywania i konserwacji, ubezpieczenia oraz jednostkowych kosztów użytkowania maszyn, także eksploatacji ciągników, obsługi transportowej i robocizny, także innych charakterystyk dotyczących kosztów szczegółowo opisują Kamionka (2005) i Muzalewski (2005, 2007, 2009).

Ocenę produkcji roślinnej często ogranicza się do kryteriów produkcyjnych i ekonomicznych, natomiast jej istotnym uzupełnieniem powinien być rachunek energetyczny (Harasim i in. 2007). Może być on stosowany do oceny efektywności energetycznej poszczególnych zabiegów agrotechnicznych, całych technologii produkcji ziemiopłodów i płodozmianów (Anuszewski i in. 1979, Harasim 2002, Wielicki 1989).

Badania dotyczące energochłonności w produkcji rolniczej rozpoczęto w latach siedemdziesiątych (Wielicki 1989). Występujący wówczas kryzys paliwowy spowodował bowiem wzrost zainteresowania zmianami technologii umożliwiającymi zmniejszenie zużycia energii w produkcji rolniczej, a głównie dążenie do zmniejszenia zużycia paliwa. Stały wzrost ceny paliwa był uznawany jako czynnik powodujący wzrost kosztów produkcji i dlatego dążenie do zmniejszenia zużycia tych nośników energii było elementem ograniczania kosztów produkcji (Ortiz-Cañavate i Hermanz 1999). Pawlak (2007) ocenia, że roczne bezpośrednie zużycie energii w rolnictwie polskim wynosi około 172 PJ. W tym zużyciu 61% stanowią paliwa ciekłe, 33% paliwa stałe, 3% energia elektryczna, 2% paliwa gazowe, a niespełna 1% ciepło. Koszty zużytej energii wyniosły w 2006 roku około 2587 mln zł, co stanowiło 5% wartości produkcji końcowej rolnictwa. W przeliczeniu na 1 ha UR nakłady energii w rolnictwie polskim wyniosły 10782 MJ, a koszty

tej energii to około 162,1 zł. Stan i prognozę zużycia energetycznego obszarów wiejskich opracował IBMER w 2008 r. (Szeptycki i Wójcicki, www.manhaz.cyf. gov.pl); (tab. 4).

Celem obniżenia bezpośrednich nakładów i kosztów energii w rolnictwie proponuje się między innymi, właściwy dobór tych środków i doskonalenie technologii produkcji oraz poprawę organizacji procesów produkcji (Pawlak 2007).

Pod koniec lat siedemdziesiątych rozpoczęto kompleksowe oceny energochłonności produkcji rolniczej, wykonywane tzw. metodą ciągnioną obejmującą pomiar nakładów energetycznych zawartych w środkach produkcji oraz w bezpośrednich nośnikach energii i pracy ludzi oraz zwierząt pociągowych. W Polsce prace dotyczące badań energochłonności ciągnionej rozpoczął zespół pod kierunkiem Wójcickiego. Zespół ten opracował metodykę badań, według której była obliczana energochłonność produkcji różnych produktów rolniczych (Anuszewski i in. 1979, Kowalski i in. 2002, Wójcicki 1981, Wójcicki 2000).

Tabela 4. Stan i prognoza zużycia energetycznego obszarów wiejskich (IBMER 2008)
Table 4. Status and forecast of energy consumption in rural areas (IBMER 2008)

Wyszczególnienie – Description	Zużycie nośników energii na pozarolniczych obszarach wiejskich w PJ w roku Energy consumption in non-agricultural rural areas in PJ in the years			
	1996	2000	2010	2020
Paliwa stałe – Solid fuels	188	164	125	85
Paliwa ciekłe – Liquid fuels	122	136	132	131
Paliwa gazowe i inne – Gaseous fuels and other	2	2	7	13
Energia elektryczna – Electric energy	30	31	35	39
Zużycie w rolnictwie – Consumption in agriculture	342	333	299	268

Wielicki (1989) i Pawlak (1998) definiują energię w rolnictwie i podają, że bilanse energetyczne mogą dotyczyć bezpośrednich bądź skumulowanych nakładów energii. W rolnictwie energia w postaci bezpośredniej wykorzystywana jest z takich nośników energii, jak oleje napędowe, benzyny, oleje opałowe, węgiel kamienny, koks, węgiel brunatny, drewno, torf, gaz ziemny, energia elektryczna itp., po przetworzeniu jej na energię mechaniczną, cieplną, promienistą itp. Jest też stosowana w postaci skumulowanej w środkach produkcji (nawozy mineralne, pestycydy, maszyny, budynki i budowle itp.) do wytworzenia których niezbędne

są nakłady energii w różnej postaci. Rozróżniamy zatem bezpośrednie nakłady energii i skumulowane nakłady energii.

Bezpośrednie nośniki energii są równe wartości cieplnej zużytych w danym procesie nośników energii. Charakter czynności w produkcji roślinnej i stosowanych przy ich wykonywaniu mechanicznych źródeł siły pociągowej powoduje, że najbardziej odpowiednimi dla nich nośnikami energii są paliwa ciekłe pochodzące z przerobu ropy naftowej. Skumulowane nakłady energii obejmują energię zużywaną na wydobycie surowców (np. rud metali, ropy naftowej, węgla kamiennego bądź brunatnego), ich transport i przetwarzanie – aż do dostarczenia do gospodarstw w postaci konkretnych środków produkcji. W przypadku nośników energii mieszczą one w sobie ponadto właściwą dla nich wartość cieplną. Skumulowane nakłady energii w przeliczeniu na jednostkę produkcji określamy mianem energochłonności skumulowanej (Wielicki 1989, Pawlak 1998).

Analiza energetyczna poszczególnych procesów produkcji nie musi się ograniczać do nakładów ponoszonych bezpośrednio i pośrednio przy wykonywaniu prac. Może ona objąć całość nakładów i efektów w gospodarce narodowej bądź jej działach (np. w rolnictwie), w gospodarstwach rolniczych, lub w poszczególnych rodzajach działalności. Tego rodzaju analiza może stanowić cenne uzupełnienie analiz ekonomicznych, w których posługujemy się miernikiem pieniężnym. Stosowanie metod analizy energetycznej, których istota polega na zastąpieniu miernika pieniężnego miernikiem skumulowanych nakładów energetycznych, wydaje się szczególnie celowe w warunkach częstych zmian poziomu i relacji cen, typowych dla okresu przeobrażeń systemu gospodarczego. Tego typu analizy odpowiednie są do oceny celowości różnego rodzaju przedsięwzięć wiążących się z inwestycjami o długotrwałych skutkach.

Na efektywność bezpośrednich i pośrednich nakładów energetycznych w rolnictwie wpływają m.in. rodzaj produkcji, poziom mechanizacji, zastosowana technologia, organizacja procesu produkcji, warunki naturalne. Poszczególne rodzaje produkcji rolniczej cechuje różna efektywność nakładów energetycznych. Na ogół efektywność ta jest wyższa w produkcji roślinnej niż zwierzęcej. Intensyfikacja produkcji skutkuje zwiększeniem nakładów energetycznych, zwłaszcza pośrednich. Dlatego po osiągnięciu optymalnego poziomu intensywności dalszy jej wzrost powoduje w praktyce obniżenie efektywności nakładów energetycznych. Jednak badania teoretyczne wykazują, że spadek efektywności może być powstrzymany m.in. przez poprawę organizacji procesu produkcji, dobór lepszych odmian. Wzrost poziomu mechanizacji powoduje przede wszystkim zmianę struktury ponoszonych nakładów energetycznych. Zmniejsza się udział skumulowanych nakładów energii związanych z wytwarzaniem prac przez ludzi i konie robocze, rośnie natomiast udział paliw i energii elektrycznej oraz nakładów pośrednich, uprzedmiotowionych w sprzęcie rolniczym. Wybór wariantu technologii

produkcji ma wyraźny wpływ na efektywność nakładów energetycznych. Podobny poziom mechanizacji w produkcji rolniczej można osiągnąć stosując warianty znacznie różniące się efektywnością nakładów energetycznych (Wielicki 1989, Pawlak 1998). Kuś i in. (1992) twierdzą, że zwiększenie nawożenia mineralnego z około 200 do około 300 kg·ha^{-1} NPK na wszystkich glebach obniża efektywność energetyczną produkcji roślinnej.

Racjonalizacji gospodarki energetycznej sprzyja w produkcji roślinnej: podnoszenie poziomu produkcji poprzez poprawę żyzności gleby, stosowanie wysokowydajnych odmian roślin, prawidłowy płodozmian, zmniejszenie strat itp. Ponadto ważne jest doskonalenie procesów produkcji poszczególnych płodów rolnych, poprawa stanu eksploatacji sprzętu rolniczego i innych odbiorników energii, dobra organizacja procesów produkcji (Kuś i in. 1992, Pawlak 1998, Nasalski i in. 2004).

O poprawie efektywności możemy mówić wówczas, gdy oszczędności energii przez nowe rozwiązanie przewyższają nakłady energetyczne, które trzeba ponieść, aby to rozwiązanie mogło być zastosowane. Warunkiem efektywnej oceny skótków racjonalizacji jest zastosowanie metody analizy skumulowanych nakładów energii. Nie można przy tym ograniczyć się do analizy korzyści w skali poszczególnych zabiegów, lecz trzeba rozpatrywać te korzyści kompleksowo, na podstawie następstw co najmniej w skali całego procesu produkcji. Powinniśmy przy tym brać pod uwagę także skutki ekologiczne proponowanych rozwiązań racjonalizatorskich. Istnieją ścisłe powiązania pomiędzy gospodarką energetyczną (zwłaszcza w rolnictwie) a ochroną środowiska. Dlatego przy wyborze ekonomicznie uzasadnionych modeli tej gospodarki należy uwzględniać koszty degradacji środowiska oraz korzyści z tytułu poprawy jego stanu (Pawlak 1998).

W ostatnich zaleceniach metodycznych Wójcicki (2005) definiuje energochłonność (E_{me}) jako określony nakład materiałowo-energetyczny (N_{okr}) ponoszony na pozyskanie określonej jednostki produkcji (P_{okr}), obliczany według formuły:

$$E_{me} = \frac{N_{okr}}{P_{okr}} \quad \text{(zł/zł, MJ/MJ, MJ/JZ)} \tag{1}$$

Według Wójcickiego (2000, 2005) i Kamionki (2005) w rolnictwie, w produkcji roślinnej najczęściej określa się energochłonność skumulowaną (ciągnioną), którą można przedstawić jako:

$$E_{skm} = \sum E_b + \sum E_m + \sum E_i + \sum E_z \ \text{(MJ·ha}^{-1}\text{)} \tag{2}$$

gdzie: E_{skm} – energochłonność skumulowana,
ΣE_b – suma energochłonności bezpośrednich nośników energii,

ΣE_m – suma energochłonności surowców i materiałów,
ΣE_i – suma energochłonności środków inwestycyjnych i napraw,
$\Sigma E_ż$ – suma energochłonności pracy żywej.

Następnie dzieląc wartość sumy zużycia tych strumieni energii (N_{skm}) przez wartość produkcji roślinnej (P_r) otrzymujemy wskaźnik energochłonności, który zdaniem Wójcickiego (2005) oznacza łączne zużycie środków materialnych i pracy żywej na umowną jednostkę produkcji roślinnej. Jeśli strumienie energii (N_{skm}) podaje się w MJ, a wartość produkcji roślinnej (P_r) w JZ to wskaźnik można zapisać jako:

$$E_{me} = \frac{N_{skm}}{P_r} = \frac{N_b + N_m + N_i + N_ż}{P_r} \quad \text{(MJ/JZ)} \qquad (3)$$

Oceniając zabieg (czynność) produkcyjny wykonywany różnymi agregatami maszynowymi Wójcicki (2005) proponuje energochłonność (E_{me}) odnosić do produkcji towarowej netto. Nakłady skumulowane w ciągnikach i innych środkach technicznych nie powinny obciążać roku gospodarczego ale wszystkie lata użytkowania (amortyzacji). Także nakłady na nawożenie obornikiem i gnojowicą, wapnowanie, głęboszowanie i matowanie powinny być rozłożone na kilka kolejnych lat (tab. 5).

Tabela 5. Oddziaływanie nawożenia i głęboszowania przez kilka lat po zabiegu (Wójcicki 2005)
Table 5. Effect of fertilization and subsoiling (deep tillage) over several years after the treatments (Wójcicki 2005)

Rodzaj zabiegu Treatments	Proponowany udział nakładu obciążający kolejny rok Proposed percentage of expenditure transferred onto the next year (%)				
	1	2	3	4	5
Obornik Gnojowica Manure Slurry	40	30	20	10	-
	60	30	10	-	-
Wapnowanie Lime	45	30	20	10	5
Głęboszowanie Subsoiling	30	25	20	15	10

Niemianowany wskaźnik energochłonności skumulowanej produkcji w gospodarstwie rolniczym powinien przyjmować wartości:

$$E_{me} \leq 1{,}0 \; lub \leq 100\%$$

aby był kompatybilny (proporcjonalny) do ponoszonych kosztów produkcji i dochodu (zysku).

Wójcicki (2005) definiuje efektywność (E) jako stosunek (iloraz) uzyskanego efektu (P) do poniesionego nakładu (N). Zatem wskaźnik rolniczej efektywności ekonomicznej (E_{ek}) to:

$$E_{ek} = \frac{P_r}{N_{skm}} \qquad \text{(zł/zł, JZ/zł, JZ/MJ)} \tag{4}$$

A rolniczej efektywności energetycznej (E_{en}) odpowiednio:

$$E_{en} = \frac{P_r}{N_{skm}} \qquad \text{(zł/zł, JZ/zł, JZ/MJ)} \tag{5}$$

Wskaźnik E_{en} jest odwrotnością wskaźnika energochłonności (E_{me}).

Dobek i Dziewanowska (2006) rolniczą efektywność energetyczną definiują jako stosunek energochłonności skumulowanej w postaci plonu ziarna pszenicy ozimej do energii potrzebnej na jego uzyskanie. Zależność tę przedstawiają za pomocą wzoru:

$$W_{ee} = \frac{W_{produkcja}}{W_{ziarno}} \qquad \left(\frac{MJ \cdot ha^{-1}}{MJ \cdot ha^{-1}}\right) \tag{6}$$

Podobnie definiują i obliczają wskaźnik efektywności energetycznej inni autorzy (Harasim 2002, Klikocka 2006, Dobek 2006b, Harasim i in. 2007).

Efektywność energetyczną produkcji ziemniaka jadalnego w wybranych gospodarstwach oceniał Dobek (2006b). Stwierdził on, że różnice w efektywności energetycznej produkcji ziemniaka zależały od zastosowanej technologii, a najwyższą energochłonnością skumulowaną charakteryzowały się materiały i surowce. W strukturze zabiegów agrotechnicznych największą energochłonność wykazywał zbiór bulw ziemniaka (ponad 2200 MJ·ha^{-1}). Badania nad efektywnością energetyczną różnych sposobów uprawy roli i nawożenia naturalnego w produkcji ziemniaka przeprowadziła także Klikocka (2000, 2001, 2006). Stwierdziła, że porównywane sposoby uprawy roli (tradycyjny i z formowaniem redlin) nie różnicowały istotnie wskaźnika efektywności energetycznej, ale mniejszych nakładów energii wymagała uprawa uproszczona. Wskaźnik ten był znacznie korzystniejszy w przypadku stosowania obornika aniżeli słomy wzbogacanej mocznikiem i międzyplonem gorczycy białej oraz pielęgnacji chemicznej przed chwastami.

Ocenę energetyczną trzech sposobów uprawy roli na glebie średniej przeprowadzili Orzech i in. (2004). Autorzy ci wykazali, że nakłady energetyczne były najwyższe przy stosowaniu płużnej uprawy roli. Uproszczenia uprawy roli, a zwłaszcza wykonywanie siewu bezpośredniego spowodowały, iż w nakładach energetycznych

w porównaniu do stwierdzonych w uprawie płużnej malał udział środków technicznych i paliwa, a wzrastał środków ochrony roślin. Na podstawie wskaźnika efektywności energetycznej wykazano nieco wyższą przydatność tradycyjnej uprawy płużnej od bezorkowej, a najmniejszą siewu bezpośredniego (tab. 6).

Tabela 6. Nakłady na agrotechnikę i wartość zebranych plonów roślin w jednostkach energetycznych (Orzech i in. 2004)
Table 6. Expenditure on agro-technique and the value of harvested crops in units of energy (Orzech *et al.* 2004)

Wyszczególnienie Description	Uprawa roli – Soil tillage		
	tradycyjna traditional	bezorkowa no-till	siew bezpośredni direct sowing
Bobik – Field Bean			
Nakłady energii – Energy input (MJ·ha^{-1})	17694	16466	16721
Wartość energetyczna plonu Energy value of crops (MJ ha^{-1})	58858	53866	47893
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy effectiveness index	3,33	3,22	2,87
Pszenica ozima – Winter wheat			
Nakłady energii – Energy input (MJ·ha^{-1})	14633	13788	13827
Wartość energetyczna plonu Energy value of crops (MJ ha^{-1})	88248	81477	78859
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy effectiveness index	6,03	5,91	5,70
Jęczmień jary – Spring barley			
Nakłady energii – Energy input (MJ·ha^{-1})	15175	14331	14292
Wartość energetyczna plonu Energy value of crops (MJ ha^{-1})	41769	36141	33915
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy effectiveness index	2,75	2,52	2,37

Badanie efektywności energetycznej w produkcji roślinnej prowadziło również wielu innych autorów w odniesieniu do:

- pojedynczych zabiegów uprawowych (Kamionka 2005, Stępień i Nasalski 2006),

- systemów uprawy roli (Czyż i in. 2005, Harasim i in. 2007, Jaskulski i Jaskulska 2004, Orzech i in. 2004),
- produkcji wybranych ziemiopłodów i technologii (Budzyński i in. 1995, Czarnocki i in. 2006, Dopka 2004, Krasowicz i Podolska 1996, Kuczyńska i Popiołek 2001, Nasalski i in. 2004, Ukalski i Niedziółka 1999),
- elementów zmianowania i płodozmianów (Harasim 1989, Harasim 2002, Harasim i In. 2007, Kordas 2005, Kuś i in. 1992, Orlik i Klima 2000, Parylak i in. 1997).

Tabela 7. Prognoza przemian energetycznych w polskim rolnictwie do 2030 r. (Wójcicki 2004, 2005, 2008)
Table 7. Estimate of energy transformation in Polish agriculture by 2030 (Wójcicki 2004, 2005, 2008)

Wyszczególnienie Description	Liczba jednostek nakładów energetycznych (PJ) Number of units of energy inputs (PJ)					
	1996	2002	2005	2010	2020	2030
Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	342	320	308	290	258	230
Środki trwałe i naprawy Fixed assets and repairs	195	195	187	170	151	135
Nawozy i inne agrochemikalia Fertilizers and other agrochemicals	160	156	162	170	185	180
Razem –Total	697	671	657	630	595	545
Surowce rolnicze Agricultural raw materials	358	350	360	380	405	415
Ogółem nakłady energetyczne Total energy expenditures	1055	1021	1017	1010	1000	960
Praca żywa ludzi i koni Human and horse labour	298	267	243	187	116	82
Ogółem z pracą żywą Total with live labour	1353	1288	1260	1197	1116	1042
Wskaźniki nakładów ogółem: Indicators of total inputs: - na 1 ha UR (GJ·ha^{-1}) - per 1 ha of agricultural area (GJ ha^{-1}) - na 1 JZ (MJ/JZ) - per 1 cereal unit (MJ CU)	75,7 2094	76,2 1984	76,8 1867	78,7 1640	82,7 1395	85,4 1255

Prognozę energochłonności produkcji rolniczej do roku 2030 opracował Wójcicki (2004, 2005, 2008); (tab. 7). Odwołując się do studiów prognostycznych IMBER w prognozie przewidziano zmniejszanie się nakładów pracy żywej, nakładów środków trwałych oraz bezpośrednich nośników energii (głównie węgla), a wzrost nakładów nawozów mineralnych i innych agrochemikaliów.

Przemiany energetyczne będą wynikać ze zmniejszenia liczby towarowych gospodarstw rodzinnych, zmniejszenia produkcyjnej powierzchni rolniczej, wzrostu intensywności produkcji roślinnej, wprowadzania energooszczędnych technologii produkcji rolniczej, stosowania wieloczynnościowych narzędzi i maszyn oraz środków energetycznych nowych generacji.

3. SIARKA W ŚRODOWISKU I NAWOŻENIU ROŚLIN

3.1. Występowanie i właściwości siarki

Siarka – symbol S (łac. *sulfur*) jest niemetalem barwy żółtej, odkrytym w starożytności. Egipcjanie (2000 p.n.e.) nazwali siarkę „brimstone – burning stone", to znaczy „palący się kamień". Używali jej jako pigmentu do produkcji kosmetyków, natomiast Chińczycy stosowali siarkę w produkcji prochu strzelniczego. Lavoisier w roku 1772 zaliczył ją do pierwiastków chemicznych, w roku 1781 Nicolas Deyeux opisał po raz pierwszy rolę siarki w roślinie, natomiast Horstmann w 1911 r. zgłębił szczegółowo znaczenie tego pierwiastka (Gupta i Schnug 2001). Pod względem rozpowszechnienia siarka zajmuje 16 miejsce. Występuje w naturze w formie elementarnej, jak też w licznych związkach nieorganicznych i organicznych, w kilkuset minerałach i ich złożach, w skałach magmowych i osadowych, w węglu kamiennym i brunatnym, w ropie naftowej, gazie ziemnym, w glebie, wodzie i powietrzu (Siuta i Rejman-Czajkowska 1980, Motowicka-Terelak i Terelak 1998). Siarka należy do VI grupy układu okresowego tzw. tlenowców. Jej masa atomowa wynosi 32,064, a ciężar właściwy, zależnie od odmiany w jakiej występuje waha się od 1,96 (siarka jednoskośna) do 2,07 $g \cdot cm^{-3}$ (siarka rombowa). O właściwościach chemicznych siarki decyduje jej występowanie w kilku stopniach utlenienia: –2, +4, +6 (Verlinden 2002, Haneklaus i in. 2003). Obecnie siarka jest podstawowym surowcem wykorzystywanym w produkcji H_2SO_4, CS_2, papieru, cementu, kauczuku, farb, leków, kosmetyków, a także fungicydów (np. mankozeb, tiram, kaptan) i herbicydów (np. metrybuzyna); (Klikocka 2005a).

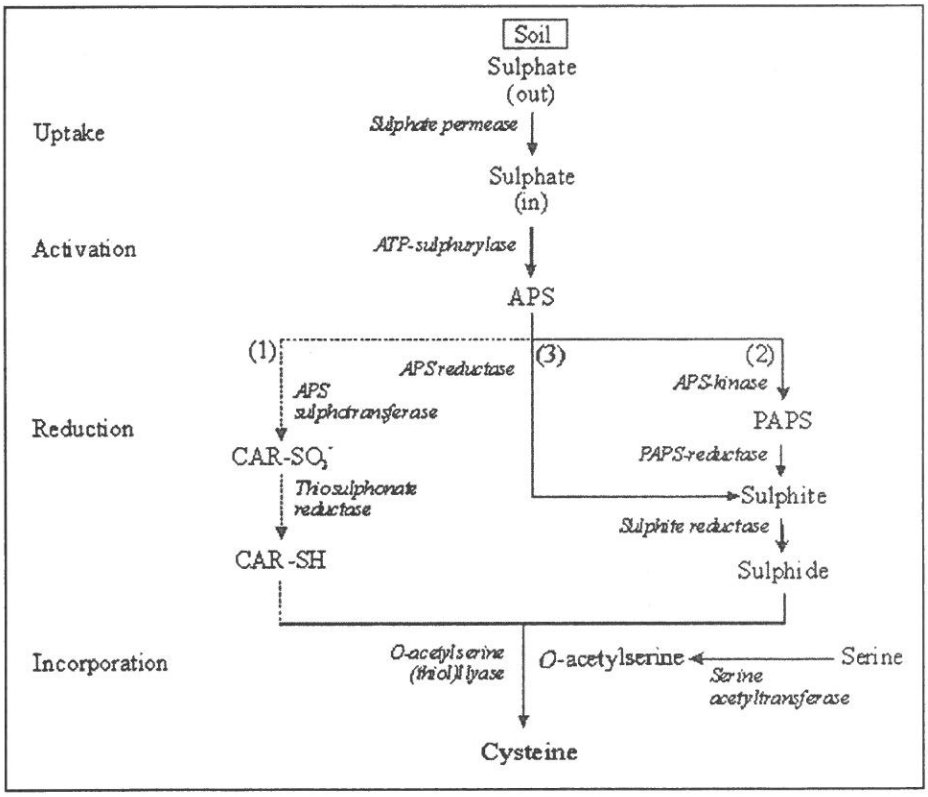
3.2. Siarka w produkcji roślinnej

Niedobór siarki, jako problem żywieniowy w produkcji roślinnej ujawnił się Europie w ostatnich 30 latach. Najwcześniej, gdyż w pierwszej połowie lat 80. XX w., w Europie Zachodniej. Obecnie niedobory siarki dla szerokiego spektrum roślin uprawnych (rzepak, zboża) obserwuje się w północnych regionach Niemiec, Szkocji, północnej i wschodniej Anglii, Danii, Szwecji, północnej części Holandii, Kanadzie (Eriksen i in. 1998). W Polsce po raz pierwszy objawy niedoboru siarki w rzepaku (objawy utajone) zaobserwowano na początku lat 90. Obecnie problem ten przyciąga coraz większą uwagę naukowców, na co wskazuje rosnąca liczba doniesień naukowych potwierdzających tym samym wagę zjawiska (Grzebisz i Przygocka-Cyna 2003, Klikocka i in. 2005). Bilans siarki w chwili obecnej w Polsce przedstawiono na rysunku 1. Niedobór S pogarsza plonowanie i zdrowotność roślin, przykładowo obniża wartość wypiekową pszenicy, a także zawartość olejków gorczycznych (glukozylanów) w kapustnych (Podleśna i in. 2003). Siarka jest niezbędnym pierwiastkiem w pełnieniu wielu funkcji fizjologicznych i w rozwoju roślin; jej zawartość wynosi od 0,1 do 3,5% suchej masy, szczególnie dużo zawierają jej *Brassicaeae* i *Liliaceae* (Bloem i in. 2000).

Objaśnienia: c+/r+ – dodatni bilans dla zbóż i rzepaku,
c+/r– – dodatni bilans dla zbóż, ujemny dla rzepaku,
c–/r– – ujemny bilans dla zbóż i rzepaku.
Explanations: c+/r+ – positive balance for cereals and rapeseed,
c+/r– – positive balance for cereals, negative for rapeseed,
c–/r– – negative balance for cereals and rapeseed.

Rys. 1. Bilans siarki w Polsce (Klikocka 2009)
Fig. 1. Sulphur balance in Poland (Klikocka 2009)

Rośliny pobierają siarkę z podłoża w postaci utlenionej jako SO_4^{2-}, a w małych ilościach mogą też asymilować jako SO_2 z atmosfery. Siarka jest transportowana z korzeni do pędu głównie przez ksylem. Zredukowane związki siarki mogą być ponownie utleniane, co w sposób szczególny różni metabolizm tego pierwiastka od metabolizmu azotu (Starck 2002, Kopriva i Koprivova 2003, Salac 2005, Klikocka 2005a). Asymilację siarczanów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ścieżka asymilacji siarczanu w roślinach wyższych: (1) ścieżka redukcji APS do „związanego" siarczynu; (2) redukcja ścieżki PAPS do "wolnego" siarczynu i (3) bezpośrednia redukcja APS do wolnego siarczynu, bez uprzedniej aktywacji do PAPS (zgodnie z Salac, 2005)
Fig. 2. Sulphate assimilation pathways in higher plants: (1) APS reduction pathway or "bound" sulphite pathway; (2) PAPS reduction pathway or "free" sulphite pathway, and (3) direct reduction of APS to free sulphite, without prior activation to PAPS (according to Salac, 2005)

Siarka bierze udział w procesie powstawania węglowodanów i tłuszczów, w syntezie aminokwasów (cysteina, cystyna, metionina), występuje w białkach (SH, S-S), ferredoksynie, tiolach (RSH), glutationie (L-γ-glutamylo-L-cysteinylo-

glicyna, w skrócie GSH-antyoksydant), sulfolipidach, koenzymach (np. CoA), witaminach (B_1, H), penicylinie, kwasie liponowym, fitochelatynach (wiążą metale ciężkie), enzymach zapachu i smaku (cykloalliina – cebula i chrzan, allicyna – czosnek), glukozynolanie w *Brassicaceae*, który co prawda jest substancją nieżywieniową, lecz jego pochodne (izo i tiocyjaniny) nadają ostry smak i zapach olejkowi gorczycy (Starck 2002, Muśnicki 2003, Glawischnig i in. 2003, Verkleij i in. 2003, Klikocka 2005a).

Niedobór siarki wpływa na obniżenie zdrowotności roślin, plonu i jego jakości. Choroby, na przykład cylindrosporioza liści rzepaku (*Pyrenopeziza brassicae*) czy mączniak prawdziwy (*Erysiphe graminis)* w zbożach występują w mniejszym nasileniu, gdy jest odpowiednio duży dopływ S do rośliny (Schnug i Ceynowa 1990, Haneklaus i in. 2002b). Ponadto, w rejonach zanieczyszczonych związkami siarki w mniejszych ilościach występuje stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata* Say) (Przybylski 2001). Jak wykazali Klikocka (2005b) oraz Klikocka i in. (2005) siarka wpływa na podwyższenie odporności ziemniaka (odporność indukowana nawożeniem siarką OINS, ang- "sulfur induced resistance" – SIR) na porażenie grzybem *Rhizoctonia solani*. Pavlista (1995) i Klikocka (2005c) podają, że siarka dodana do gleby obniża ponadto jej pH, co powoduje wzrost odporności ziemniaka na parcha zwykłego (*Streptomyces scabies*). Także nawożenie siarką podwyższa plony roślin uprawnych i polepsza ich jakość, np.: cebuli, czosnku, zbóż, buraka cukrowego i *Brassica* (Schnug i Haneklaus 1998, Toboła i Jakubus 2003, Cyna i Grzebisz 2003). Nawożenie siarką wpływa również korzystnie na wzrost plonu i jakość bulw ziemniaka oraz ziarna pszenżyta jarego (El-Fayoumy i El-Gamal 1998, Lalitha i in. 1997, Lasztity 1993, Mondal i in. 1993, Pickny i Grocholl 2002, Klikocka 2004a, 2004b).

Jednym z charakterystycznych objawów braku siarki, podobnie jak azotu, jest chloroza liści, czerwonane żyłki, czasem brak turgoru liści. Chloroza pojawia się najpierw na liściach młodych. Rośliny mają małe, wąskie, blado zielone blaszki liściowe (wash outs) oraz cienkie łodygi z bogato rozwiniętą zdrewniałą tkanką wzmacniającą (Merrien 1991). W przypadku deficytu siarki płatki korony rzepaku są białe (white blooming) (Schnug i in. 1994, Schnug i in. 2003).

3.3. Siarka w glebie

Szacuje się, że zawartość siarki w skałach osadowych na obszarze Polski wynosi 0,4% S. Ponieważ gleby Polski są aż w 90% wytworzone ze skał osadowych, siarka zajmuje pozycję jednego z sześciu głównych składników gleb (N, P, K, Ca, Mg i S). Zawartość siarki w glebach krajowych waha się w granicach 70-1070 $mg \cdot kg^{-1}$. W glebach mineralnych nie podlegających większej antropopresji zawartość siarki ogółem nie przekracza na ogół 200 $mg \cdot kg^{-1}$. Gleby organiczno-

mineralne i organiczne zawierają z reguły ponad dwukrotnie więcej siarki niż utwory mineralne z tym, że zawartość naturalna siarki nie przekracza 450 $mg \cdot kg^{-1}$ (Terelak i in. 2002). Według dotychczasowego rozpoznania ocenia się, że siarka siarczanowa ($S\text{-}SO_4$) stanowi od kilku do 10% ogólnej zawartości tego pierwiastka w glebach, to jest <10,0 do 50,0 mg $S\text{-}SO_4 \cdot kg^{-1}$ w przypadku gleb wytworzonych z utworów mineralnych i do 150,0 mg $S\text{-}SO_4 \cdot kg^{-1}$ w glebach organicznych. Zawartość S ogólnej i siarczanowej w Polsce w cyklu 5-letnim bada Instytut Ochrony Środowiska. Na podstawie analizy $S\text{-}SO_4$ przeprowadzonej w 2000 roku w 214 próbkach glebowych, pobranych z głębokości 0-20 cm stwierdzono, że średnia zawartość siarki siarczanowej w glebach Polski wynosiła 13,2 $mg \cdot kg^{-1}$, przy wahaniach od 2,0 do 70,5 $mg \cdot kg^{-1}$. Zaobserwowano przy tym zróżnicowanie regionalne, największe obszary gleb zasiarczonych znajdowały się w południowo-środkowej i zachodnio-północnej części kraju, a także wokół aglomeracji warszawskiej. Ponadto zdaniem Terelaka i in. (2002) na północy oraz południo-wym wschodzie kraju przeważają gleby o naturalnej, niskiej zawartości siarki siarczanowej (klasa 0), a na obszarze całego kraju gleby z podwyższoną zawartością siarczanów (klasa 1). Gleby silnie zdegradowane wskutek zasiarczenia (klasa 3) zajmują w Polsce 4% powierzchni kraju. W większości gleb Polski użytkowanych rolniczo zawartość siarki siarczanowej nie przekracza 20 $mg \cdot kg^{-1}$ gleby, z czego większość badanych gleb zawiera na powierzchni 1 ha w warstwie ornej nie więcej jak 50 kg siarki siarczanowej, a ponad 30% nie więcej jak 30 $kg \cdot ha^{-1}$ siarki dostępnej dla roślin. Ponad 70% powierzchni użytków charakteryzuje się zawartością siarki w granicach 5,0-20,0 $mg \cdot kg^{-1}$ (Lipiński i in. 2003).

W glebach uprawnych zawartość siarki wynosi zazwyczaj około 1%, jednakże jej główna masa znajduje się w formie związków organicznych. Siarka organiczna występuje w komórkach żywych organizmów i w substancji organicznej, przede wszystkim w próchnicy. Badania izotopowe z ^{35}S wykazały, że siarka wchodząca w skład próchnicy pochodzi przeważnie z rozkładu organicznych połączeń siarkowych, a nie siarczanów przedostających się do gleby różnymi drogami (Koter i Panek 1996, Motowicka-Terelak i Terelak 1998). Związki siarki organicznej w glebie ulegają rozkładowi i ponownej resyntezie. Kierunek i nasilenie procesu mineralizacji organicznych połączeń siarki w glebie zależy od wielu czynników. Uwalnianie do gleby siarki w wyniku mineralizacji ze związków organicznych zachodzi wówczas, gdy stosunek C:S w rozkładanej przez drobno-ustroje substancji jest mniejszy od 200 (Kalembasa i in. 1995). Zdaniem Taba-tabiego (1986) jeżeli stosunek C:S wynosi powyżej 200-400:1 to w glebie następuje przewaga procesów immobilizacji siarki. Tabatabai (1986) podaje, że stosunek C:N:S zależy od rodzaju gleby, wymywania i nawożenia i wynosi średnio 130:12:1, natomiast Brady i Weil (1996) uważają, że typowy stosunek C:N:S w glebach mineralnych powinien wynosić 100:8:1. Natomiast stosunek N:S wynosi w granicach od 6,7 do 11,1.

3.4. Nawożenie siarką

Do nawożenia roślin uprawnych możemy stosować siarkę w postaci: siarczanowej, elementarnej i organicznej (obornik: 2-5,5 kg $S \cdot ha^{-1}$); (Klikocka 2005a, Cyna i Grzebisz, 2003). W tabeli 8 przedstawiono dostępne aktualnie nawozy zawierające siarkę. Źródłem siarki może być również gips i piryt. Przy formie S^{o} należy uwzględnić jej proces biologicznego utlenienia, na który wpływa przede wszystkim wielkość i aktywność populacji mikroorganizmów glebowych (*Thiobacillus* sp.) oraz stopień rozdrobnienia siarki (Aulakh 2003, Kulczycki 2003). Stosowanie siarki pierwiastkowej stanowi wielką zaletę dla roślin, gdyż siarczany są uwalniane stopniowo. Dzięki temu może być ona stosowana raz na kilka lat na glebach narażonych na wymywanie siarki (Haneklaus i in. 2003, Klikocka i in. 2003b, Klikocka 2004a,c). Potrzeby odpowiedniego nawożenia siarką należy jednakże uzależnić od szeregu czynników (Pederson i in. 1998). Ważniejsze czynniki to: zawartość S w glebie, zawartość części ilastych, intensywność opadów w okresie jesieni i zimy, rodzaj rośliny uprawnej, a także odległość pola od ośrodków przemysłowych i zurbanizowanych. Przyswajalna dla roślin siarka siarczanowa (SO_4-S) jest bardzo mobilna w glebie, podlega ona ciągłemu wymywaniu i ponownemu importowaniu z podglebia lub płytkich wód gruntowych. Ryzyko niedoboru siarki występuje generalnie na glebach lekkich o głębokim poziomie wody gruntowej (Schung i Haneklaus 1998, Klikocka 2005c).

Tabela 8. Zawartość siarki w nawozach mineralnych (opracowanie własne)
Table 8. Sulphur content in mineral fertilizers (author's compilation)

Nazwa nawozu Name of fertilizer	Zawartość siarki Sulphur content (%)
Siarczan amonu – Ammonium sulphate	23
Kizeryt – Kieserite	22
Siarczan potasu – Potassium sulphate	18
Kalimagnezja – Patenkali	17
Siarczan magnezu – Magnesium sulphate	13
Superfosfat pojedynczy – Single superphosphate	12

Bloem (1998) i Klikocka (2005c) proponują model prognozowania niedoborów siarki w glebach uprawnych – Model for the Predicting Sulphur deficiency - MOPS, który integruje istotne cechy gleby i rośliny jak: hydrologia gleby i tekstura gleby oraz warunki klimatyczne, szczególnie ilość opadów podczas zimy, ewa-

potranspiracja, aktualna zawartość siarki w roślinie uprawnej, możliwość podsiąku kapilarnego z gleby i wody gruntowej (szczególnie podczas okresu wegetacyjnego). Dzięki modelowi, który wiąże analizę gleby z rośliną można prognozować potrzeby nawożenia siarką roślin uprawnych.

3.5. Agroekologiczny aspekt nawożenia siarką

Siarka jest pierwiastkiem niezbędnym dla prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych w roślinie, zwłaszcza, że jest ona ściśle powiązana z azotem, przez co niedobór jednego składnika ogranicza pobieranie i działanie drugiego (Grzebisz i Haerdter 2006, Fotyma 2003). Niedobór siarki powoduje obniżenie efektywności wykorzystania azotu i przyczynia się do akumulacji azotanów w tkankach roślin oraz zwiększa podatność roślin na czynniki stresowe. Dodatek S podwyższa wykorzystanie N z gleby – ograniczając tym samym ulatnianie N i wymywanie go do wód gruntowych. Średnio każdy kg S jest satysfakcjonujący dla 15 kg N w plonie rośliny i w środowisku glebowym (Klikocka 2005a, 2009). Zmiany klimatyczne wpływają na zmianę cyklu pierwiastków w glebie i pogłębienie efektu cieplarnianego. Wraz ze wzrostem akumulacji węgla następuje limitowanie w glebie N, S i P oraz zmniejszenie żyzności gleby (Haneklaus i in. 2002a).

4. CHARAKTERYSTYKA PRZEPROWADZONYCH DOŚWIADCZEŃ

4.1. Opis terenu badań i doświadczeń polowych

Doświadczenia polowe zostały przeprowadzone we wsi Malice k. Hrubieszowa (50°42' N, 23°15' E), w byłym województwie zamojskim. Region ten, zwany jako Zamojszczyzna położony jest w południowo-wschodniej części Polski. Dokładne położenie określają następujące współrzędne geograficzne: długość geograficzna wschodnia od 11°24'' do 24°09'' oraz szerokość geograficzna północna 50°15'' do 51°00''. Rozciągłość południkowa wynosi 86 km, a równoleżnikowa 122 km. Ogólna powierzchnia Zamojszczyzny wynosi 6307 km^2, co stanowi 1,6% powierzchni Polski. Na obszarze Zamojszczyzny wyróżnia się następujące makroregiony: Wyżynę Lubelską, Roztocze, Kotlinę Sandomierską, Polesie Wołyńskie, Wyżynę Zachodnio-Wołyńską i Pobuże (Kondracki 1994, Klikocka 2005c).

Największe znaczenie jako skały macierzyste gleb uprawnych odgrywają utwory czwartorzędowe, plejstoceńskie (lessowe i lessowate, osady pyłowe i pylaste, piaski starych tarasów akumulacyjnych, piaski wolnolodowcowe oraz piaski i gliny zwałowe), które zajmują 65% powierzchni. Przeciętna ich miąższość waha się od 10 do 15 m. Starsze osady kredowe (senońskie) i trzeciorzędowe (mioceń-

skie) stanowią około 15%, a młodsze holoceńskie (mady i piaski rzeczne oraz złoża torfowe) pozostałe 20% powierzchni (Kondracki 1994).

Zamojszczyzna charakteryzuje się małym zasobem wód powierzchniowych. Cały obszar zalicza się w całości do zlewni Wisły, rzeki I rzędu. Główną osią wodną jest Wieprz – rzeka II rzędu wraz ze swoimi dopływami. Wschodnią część Zamojszczyzny odwadnia rzeka Bug, a przede wszystkim przez jej lewostronny dopływ Huczwa. Z części południowo-zachodniej wody powierzchniowe spływają Tanwią i jej dopływami (Sopot, Szum, Czarna Łada i Biała Łada) bezpośrednio do Sanu – rzeki II rzędu. Region Pobuża odwadniany jest w kierunku wschodnim przez Sołokiję – lewy dopływ Bugu. U podnóża Roztocza występuje linia źródeł.

Występowanie wód podziemnych związane jest z budową geologiczną terenu. Na Zamojszczyznie można wydzielić obszary o następujących głębokościach wód podziemnych: od 0 m do 5 m (południowo-zachodnia część regionu zaliczana do Równiny Puszczańskiej, Płaskowyż Tarnogrodzki, na wschód od doliny Huczwy, Dolina Bugu); od 5 m do 20 m (obszary pozadolinowe pokryte piaskami pylastymi oraz glinami zwałowymi, Padół Zamojski, Roztocze); powyżej 20 m (Wyniosłość Giełczewska, Działy Grabowieckie, Wyżyna Lubelska, Roztocze Zachodnie, wschodnia część Grzędy Sokalskiej).

Udział poszczególnych typów gleb w powierzchni użytków rolnych przedstawia się następująco: gleby bielicowe i płowe – 14,6%, gleby brunatne właściwe – 12,1%, gleby brunatne wyługowane i kwaśne – 34,4%, czarnoziemy właściwe, zdegradowane i deluwialne – 14,6%, pozostałe gleby (czarne ziemie, glejowe, mułowo-torfowe, murszowe, mady, rędziny) – 24,3%. Gleby bardzo lekkie stanowią 7%, gleby lekkie 53%, gleby średnio ciężkie 30,4%, gleby ciężkie i bardzo ciężkie 9,6%. Pod względem składu granulometrycznego gleb największą powierzchnię wśród użytków rolnych stanowią utwory lessowe i lessowate (66%), wapienie kredowe (7,6%), gliny (6,4%), piaski gliniaste (5,2%), piaski luźne i słabogliniaste (7,2%) i utwory organogeniczne (7,6%). Około 70% gruntów ornych na obszarze Zamojszczyzny charakteryzuje się relatywnie optymalnym uwilgotnieniem, 12% są to gleby odgórnie, okresowo lub stale podmokłe, natomiast 19% stanowią gleby okresowo lub stale suche (Kern i in. 1990, GUS 2010).

Obecny klimat Zamojszczyzny można scharakteryzować jako przejściowy, kształtowany przez zmienny w swym zasięgu napływ mas powietrza o charakterze oceanicznym lub kontynentalnym, z przewagą kontynentalnego. Średnie opady atmosferyczne w okresie wegetacji wynoszą 417 mm, natomiast w okresie jesienno-zimowym 172 mm. Średnia temperatura powietrza wynosi 7°C. Grudzień, styczeń i luty charakteryzuje się temperaturą ujemną, średnio od –1 do –4°C. Lato jest upalne, szczególnie czerwiec, lipiec i sierpień, przeciętnie 17°C (Samborski 1995).

Dwa doświadczenia polowe (na polu wędrującym) przeprowadzono w latach 2006-2009, we wsi Malice k. Hrubieszowa na glebie (wg PTG) autogenicznej brunatnej wyługowanej (Turski i Słowińska-Jurkiewicz 1992), wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego pylastego (cz. spław. 13%), zaliczonej do kompleksu żytniego dobrego, o odczynie lekko kwaśnym (pH = 5,6). Zawartość fosforu była wysoka, potasu, magnezu i siarki średnia. Dokładny opis doświadczeń i szczegółową charakterystykę właściwości gleby, określoną za Mockiem i in. (1997) oraz Ostrowską i in. (1991) podano we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010).

Przedmiotem doświadczenia pierwszego był ziemniak jadalny *(Solanum tuberosum* L.*)* odmiany średniowczesnej 'Irga', a doświadczenia drugiego pszenżyto jare (*Triticosecale* Wittmack.) odmiany 'Wanad'. Obie rośliny były uprawiane metodą tradycyjną i proszczoną (czynnik I) oraz nawożone NPK i NPK+S (czynnik II).

Obydwa eksperymenty przeprowadzono metodą podbloków losowanych w układzie zależnym split-plot, w czterech powtórzeniach.

Sumy opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym 2007 roku były zbliżone do sumy wieloletniej (1971-2005: 393,5 mm). W sezonie wegetacyjnym 2008 roku opady przekroczyły sumę wieloletnią o 56,4 mm. Szczególnie duże opady obserwowano w kwietniu (71,5 mm), lipcu (104,6 mm) i we wrześniu (80,4 mm). Podobny rozkład opadów w miesiącach letnich wystąpił w 2007 roku. W sezonie 2009 r. suma opadów atmosferycznych była niższa od średniej sumy wieloletniej o 43,4 mm, przy czym przekropny był maj i czerwiec, sierpień był o zbliżonym rozkładzie do sumy wieloletniej, natomiast pozostałe miesiące okresu wegetacji były posuszne. Sumy temperatur powietrza w analizowanych sezonach wegetacyjnych były wyższe od sumy wieloletniej (1971-2005: 2690°C). I tak, w sezonie 2007 – o 363°C, w sezonie 2008 – o 341°C, a w sezonie 2009 – o 432°C. Generalnie, w każdym miesiącu analizowanych lat, temperatura powietrza przekraczała średnią temperaturę z wielolecia. Nie zauważono jednak aby rozkład opadów i temperatur wpływał znacząco na różnicowanie faz rozwojowych ziemniaka i pszenżyta jarego. Jednakże czynnik pogodowy zaważył istotnie na plonowaniu roślin, co zostało opisane w części pracy opisującej rezultaty badań.

Zestawienie tabelaryczne opadów atmosferycznych i temperatury powietrza oraz charakterystykę klimatyczną i ewapotranspirację podano we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Na podstawie danych meteorologicznych wyliczono współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa, według wzoru:

$$k = \frac{p \times 10}{\sum t} \tag{7}$$

gdzie: p – suma miesięcznych opadów atmosferycznych (mm),
$\sum$ t – suma średnich dobowych temperatur powietrza z tego miesiąca (°C).

Wartość współczynników hydrotermicznych obliczono dla sezonu wegetacyjnego ziemniaka (IV-IX) i pszenżyta jarego (IV-VIII). Poszczególne sezony dla wegetacji ziemniaka określono jako: 2007 – dość suchy (1,3), 2008 – dość wilgotny (1,5), 2009 – suchy (1,1). Dla wegetacji pszenżyta jarego sezony zdefiniowano jako: 2007 – suchy (1,0), 2008 – dość wilgotny (1,4), 2009 – dość suchy (1,2). Wielolecie w obu przypadkach określono jako dość wilgotne (1,5).

4.1.1. Agrotechnologia ziemniaka

Przedmiotem badań była średniowczesna jadalna odmiana ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) "Irga" (Sachajko 2010). Jest to odmiana przeznaczona bezpośrednio do spożycia i na produkty suszone. Przedplonem na polu wędrującym było pszenżyto jare. W doświadczeniu badano następujące czynniki:

I. czynnik – metoda uprawy roli (UR):

1. tradycyjna (TRD) – podorywka (10 cm), bronowanie (5 cm), obornik (30 $t \cdot ha^{-1}$), orka odwrotka (20 cm), orka przedzimowa (25 cm), a wiosną gruberowanie (15 cm) i bronowanie (5 cm).

2. uproszczona (UPR) – oprysk herbicydem Roundup 360 SL po żniwach (3 $l \cdot ha^{-1}$), obornik (30 $t \cdot ha^{-1}$), orka odwrotka (20 cm), a wiosną gruberowanie (15 cm) i bronowanie (5 cm).

II. czynnik – rodzaj nawożenia mineralnego (NM):

a. NPK + 0 kg $S \cdot ha^{-1}$ (0S);

b. NPK + 50 kg $S \cdot ha^{-1}$ (50S) (278 $kg \cdot ha^{-1}$ K_2SO_4).

Powierzchnia poletka do sadzenia i obserwacji wynosiła 30 m^2, natomiast do zbioru 19,5 m^2 (3,0 m x 6,5 m). Ziemniaka uprawiano w rozstawie rzędów 67,5 cm, a w rzędach – 30 cm, co stanowiło obsadę roślin 44 tys. $szt. \cdot ha^{-1}$.

Podorywkę, a następnie oprysk Roundapem 360 SL (41% soli izopropyloaminowej glyfosatu) w ilości 3 $l \cdot ha^{-1}$ wykonano w trzeciej dekadzie sierpnia. Wywóz obornika bydlęcego (w ilości 30 $t \cdot ha^{-1}$) i przykrywającą go orkę odwrotkę prowadzono w trzeciej dekadzie września. Natomiast orkę przedzimową wykonywano w drugiej bądź trzeciej dekadzie października. Wiosenne prace polowe rozpoczynano w trzeciej dekadzie marca. Nawożenie mineralne stosowano jednorazowo, bezpośrednio przed sadzeniem ziemniaka, które każdego roku wykonywano w drugiej dekadzie kwietnia. Stosowano 100 kg $N \cdot ha^{-1}$ w formie mocznika, 100 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ w formie superfosfatu potrójnego granulowanego i 140 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ w formie siarczanu potasowego i chlorku potasu. Zbiór bulw przeprowadzono w drugiej dekadzie września. Szczegółowy wykaz zabiegów przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010).

Przed sadzeniem przeciwko *Rhizoctonia solani* sadzeniaki zaprawiano preparatem Rizolex 50 WP (tolchlofos metylowy) w ilości 200 $g \cdot 100\ kg^{-1}$ bulw. Łany ziemniaków pielęgnowano metodą mechaniczno-chemiczną: po posadzeniu bulw

zastosowano bronowanie i obsypywanie (w miarę potrzeby opielanie). Tuż po wschodach ziemniaka (gdy rośliny osiągnęły 12 cm) zastosowano herbicyd Sencor 70 WP (s.a. metribuzin), w dawce 0,5 kg·ha^{-1}. Zwlaczanie stonki ziemniaczanej i ochronę ziemniaka przed zarazą ziemniaka stosowano łącznie, preparaty dobierano i mieszano zgodnie z zaleceniami IOR, co zostało szczegółowo opisane we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010).

Zabieg chroniący bulwy przed zarodnikami zarazy ziemniaka łączono z desykacją naci ziemniaczanej. Wykonano go na trzy tygodnie przed zbiorem bulw, mieszano Brestanid 502 S.C. z Reglone Turbo 200 SL (dikwat w postaci jonu) (3 l·ha^{-1}). W tabeli 9 przedstawiono zabiegi uprawowe przeprowadzone w doświadczeniu polowym.

Tabela 9. Zabiegi uprawowe w doświadczeniu polowym z ziemniakiem (2006-2009)
Table 9. Agrotechnical treatments used in field experiment with potatoes (2007-2009)

Zabiegi Treatments	Termin* Decade and month	Agregat C-360 + Implement set C-360 +	Głębokość uprawy (cm) lub dawka S.A. (g·ha^{-1}) Depth of cultivation (cm) or dose of pesticides (g a.i. ha^{-1})	Uprawa** Tillage methods	
				TRD CST	UPR SST
Podorywka – Skimming	2-3 VIII	U-025/1	15 cm	+	–
Bronowanie – Harrowning	2-3 VIII	U-212/2	5 cm	+	–
Opryskiwanie (Roundap 360SL) Spraying (Roundap 360SL)	2-3 VIII	P-412	1230 g S.A.·ha^{-1}	–	+
Załadunek obornika Manure loading	2-3 IX	T-365	–	+	+
Roztrząsanie obornika Manure dithering	2-3 IX	N-211	–	+	+
Orka odwrotka Reversible ploughing	2-3 IX	U-023/1	20 cm	+	+
Orka zimowa Prewinter ploughing	2-3 X	U-023/1	25 cm	+	–
Gruberowanie Cultivation	3 III-1 IV	U-474/1	15 cm	+	+
Nawożenie NPKS Mineral fertilization	2-3 IV	N-012	–	+	+

Tabela 9. cd. Zabiegi uprawowe w doświadczeniu polowym z ziemniakiem (2006-2009)
Table 9. Cont. Agrotechnical treatments used in field experiment with potatoes (2007-2009)

Zabiegi Treatments	Termin Decade and month	Agregat C-360 + Implement set C-360 +	Głębokość uprawy (cm) lub dawka S.A. ($g \cdot ha^{-1}$) Depth of cultivation (cm) or dose of pesticides (g a.i. ha^{-1})	Uprawa Tillage methods	
				TRD CST	UPR SST
Bronowanie – Harrowing	2-3 IV	U-212/2	5 cm	+	+
Sadzenie bulw – Planting	2-3 IV	S-211	10 cm	+	+
Bronowanie – Harrowing	1-2 V	U-212/2	5 cm	+	+
Opielanie – Weeding	3 V	P-430/2	–	+	+
Obsypywanie – Earthing up	1 VI	P-448/1	–	+	+
Opryskiwanie (Sencor 70 WP) Spraying – weedes (Sencor 70 WP)	1 VI (rośliny 12 cm) 1 VI (plant 12 cm)	P-412	350 g S.A.·ha^{-1}	+	+
Chemiczna ochrona przed szkodnikami i chorobami Spraying – other pathogens	1 VI – 2 VIII	P-412	–	+	+
Zbiór – Harvesting	1-2 IX	Z-609/3	–	+	+

* Dekada i miesiąc – decade and month, **TRD – tradycyjna uprawa roli, CST–conventional soil tillage, UPR – uproszczona uprawa roli – SST-simplified soil tillage.

W czasie prowadzenia doświadczenia dokonywano obserwacji fenologicznych w skali BBCH: 00-09 kiełkowanie, 10-19 wschody, 10-19 pojawy liści, 21-29 formowanie łodyg, 31-39 butonizacja, 40-49 zawiązywanie bulw, 51-59 zawiązywanie kwiatów, 60-69 kwitnienie, 70-79 formowanie owocu, 81-89 dojrzewanie owocu i nasion, 91-99 dojrzewanie roślin i bulw (Hack i in. 1993). Z uwagi, że nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanych czynników w doświadczeniu na różnicowanie faz rozwojowych ziemniaka, opis tych obserwacji pominięto w opracowaniu.

4.1.2. Agrotechnologia pszenżyta jarego

Przedmiotem badań była odmiana Wanad pszenżyta jarego (*Triticosecale* Witt.), dla którego przedplonem (na polu wędrującym) był średniowczesny ziemniak. Szczegółowy opis doświadczenia podano we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). W doświadczeniu badano następujące czynniki:

I. czynnik - metoda uprawy roli (UR):

1. tradycyjna (TRD) – bronowanie (5 cm), orka przedzimowa (20 cm), a wiosną bronowanie (5 cm), gruberowanie (15 cm) i bronowanie (5 cm).
2. uproszczona (UPR) – bronowanie (5 cm), gruberowanie (15 cm). Wiosną gruberowanie (15 cm) i bronowanie (5 cm).

II. czynnik – rodzaj nawożenia mineralnego (RNM):

a. NPK + 0 kg $S \cdot ha^{-1}$ (0S);
b. NPK + 40 kg $S \cdot ha^{-1}$ (40S) (166 $kg \cdot ha^{-1}$ $(NH_4)_2SO_4$).

Powierzchnia poletka do siewu i obserwacji wynosiła 30 m^2, natomiast do zbioru 20 m^2 (4,0 m · 5,0 m). Siew pszenżyta jarego przeprowadzono w trzeciej dekadzie marca, zakładając gęstość 550 $ziaren \cdot m^{-2}$.

Po zbiorze przedplonu w II dekadzie września wykonano bronowanie, orkę przedzimową (średnią) lub gruberowanie w II dekadzie października. Wiosenne prace polowe rozpoczynano w trzeciej dekadzie marca. Nawożenie mineralne stosowano bezpośrednio przed siewem pszenżyta. Nawozy fosforowe w dawce 90 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ w formie superfosfatu potrójnego i potasowe w dawce 100 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ w formie chlorku potasu stosowano w całości przedsiewnie. Nawozy azotowe w dawce 90 kg $N \cdot ha^{-1}$ w formie saletry amonowej (częściowo siarczanu amonu) i siarkowe w dawce 40 kg $S \cdot ha^{-1}$ w formie siarczanu amonu stosowano w dwóch terminach, ½ dawki w trakcie przygotowania roli do siewu i ½ dawki w fazie strzelania pszenżyta w źdźbło (BBCH 30/31); (Lancashire i in. 1991, Witzenberger i in. 1989).

Nasiona przed siewem zaprawiono zaprawą Vitavax 200 FF (s.a. karboksyna), w ilości 300 ml $100 \cdot kg^{-1}$. Szczegółową pielęgnację i ochronę łanu pszenżyta jarego przed chorobami opisano we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). W tabeli 10 przedstawiono wykaz zabiegów uprawowych przeprowadzonych w doświadczeniu polowym.

W czasie prowadzenia doświadczenia dokonywano obserwacji fenologicznych w skali BBCH: 0-9 kiełkowanie; 10-19 wschody; 20-29 krzewienie; 30-38 strzelanie w źdźbło; 41-49 rozwój kłosa, 51-59 kłoszenie; 61-69 kwitnienie; 71-77 rozwój owocu, 83-89 dojrzewanie, 92-99 starzenie (Lancashire i in. 1991, Witzenberger i in. 1989). Jednakże nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanych czynników doświadczalnych i meteorologicznych na różnicowanie faz rozwojowych pszenżyta jarego.

Tabela 10. Zabiegi uprawowe w doświadczeniu polowym z pszenżytem jarym (2006-2009)
Table 10. Agrotechnical treatments used in field experiment with spring-Triticale (2007-2009)

Zabiegi Treatments	Termin* Decade and month	Agregat C-360 + Implement set C-360 +	Głębokość uprawy Depth of cultivation (cm)	Uprawa roli Tillage methods**	
				TRD CST	UPR SST
Bronowanie Harrowing	2 IX	U-212/2	5 cm	+	+
Orka Ploughing	2 X	U-023/1	20 cm	+	-
Gruberowanie Cultivation	2 X	U-474/1	15 cm	-	+
Gruberowanie Cultivation	3 III	U-474/1	15 cm	+	+
Nawożenie NPKS Mineral fertilization	3 III	N-012	–	+	+
Bronowanie Harrowing	3 III	U-212/2	5 cm	+	+
Siew Sowing	3 III	S-052	2 cm	+	+
Bronowanie Harrowing	3 III	U-212/2	5 cm	+	+
Nawożenie ½ N,S ½ N,S fertilization	3 IV	N-012	–	+	+
Chemiczna ochrona przed agrofagami Spraying – pathogens and weeds	wegetacja	P-412	–	+	+
Zbiór ziarna Grain harvest	2-3 VIII	Z056/8	–	+	+
Transport ziarna Grain transport	2-3 VIII	T-040	–	+	+

*Dekada i miesiąc – decade and month, **TRD – tradycyjna uprawa roli, CST– conventional soil tillage, UPR – uproszczona uprawa roli – SST– simplified soil tillage.

4.2. Wykaz badanych cech i opis metod analitycznych

4.2.1. Cechy technologiczne roślin oraz jakość i skład chemiczny bulw i ziarna

Szczegółowy opis metod analitycznych podano we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Zbiór bulw ziemniaka przeprowadzono ręcznie w okresie technologicznej dojrzałości roślin (BBCH 99). W czasie zbiorów pobierano próby spod 10 krzaków ze wszystkich poletek doświadczenia celem oznaczenia struktury plonu. Ocenę cech badanych bulw ziemniaka wykonano zgodnie z metodyką przyjętą przez IHAR (Roztropowicz i in. 1999).

W doświadczeniu określano następujące cechy ziemniaka:

1 – plon ogólny bulw ($t \cdot ha^{-1}$),
2 – plon handlowy bulw – masa frakcji bulw powyżej 40 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
3 – plon bulw sadzeniaków – masa frakcji bulw od 30-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
4 – liczba bulw z 1 rośliny (szt.),
5 – średnia masa 1 bulwy (g),
6 – plon bulw z 1 rośliny (g),
7 – plon bulw o średnicy < 30 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
8 – udział w plonie masy bulw o średnicy do 30 mm (%),
9 – plon bulw o średnicy 30-40 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
10 – udział w plonie masy bulw o średnicy 30-40 mm (%),
11 – plon bulw o średnicy 40-50 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
12 – udział w plonie masy bulw o średnicy 40-50 mm (%),
13 – plon bulw o średnicy 50-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
14 – udział w plonie masy bulw o średnicy 50-60 mm (%),
15 – plon bulw o średnicy powyżej 60 mm ($t \cdot ha^{-1}$),
16 – udział w plonie masy bulw o średnicy > 60 mm (%).

Przed zbiorem pszenżyta jarego określono liczbę kłosów na 1 m^2 i długość źdźbła w cm (BBCH 91). Pobrano również losowo z każdego poletka po 30 kłosów celem oznaczenia komponentów plonu. Po zbiorze oznaczono plon ziarna w $t \cdot ha^{-1}$ (przy 11% wilgotności).

W doświadczeniu określano następujące cechy pszenżyta jarego:

1 – plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$),
2 – liczba ziaren w kłosie (szt.),
3 – masa 1000 ziaren (g),
4 – plon z 1 kłosa (g),
5 – liczba kłosów na 1 m^2 ($szt \cdot m^{-2}$),
6 – długość kłosa (cm).

W czasie zbiorów ziemniaka pobierano po 100 bulw (około 5 kg) średniej wielkości ze wszystkich poletek doświadczenia, w celu określenia zawartości

skrobi (przy pomocy wagi Reimana) (Roztropowicz i in. 1999). Z każdego poletka pobierano również po 50 bulw ziemniaka do analiz chemicznych (Roztropowicz i in. 1999). Pobierano próbki ziarna pszenżyta jarego (z każdego poletka) i suszono je w temperaturze 60°C przez 48 godzin. Próbki bulw i ziarna po wysuszeniu zmielono na cząstki mniejsze od 0,12 mm. Oznaczono w suchej masie bulw i ziarna (określonej metodą suszarkową) zawartość ogólnych form azotu według metody Kjeldahla (Ostrowska i in. 1991) oraz siarki ogólnej metodą nefelometryczną Buttresa-Chenry'ego (1959).

Zawartość białka ogólnego w bulwach wyliczono jako iloczyn 6,26 x zawartość N, a w ziarnie jako iloczyn 5,7 x zawartość N (Zhao i in. 1997).

4.2.2. Wskaźniki ekonomicznej i energetycznej oceny produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego

Pracochłonność zabiegów (nakłady pracy ludzkiej i mechanicznej) określono na podstawie danych uzyskanych w warunkach produkcyjnych, z uwzględnieniem technologii produkcji stosowanych przy uprawie ziemniaka i pszenżyta jarego według Manieckiego, za Lorencowiczem (2002). Wykorzystanie mocy ciągnika C-360 3P z odpowiednio dobranymi maszynami przyjęto średnio na poziomie 70% uwzględniając, że pracuje on na glebie lekkiej, na polu o długości 100 m.

Ustalenie kosztów badanych zestawów maszyn oparto na metodach obliczania kosztów przyjętych przez IBMER (Kamionka 2005). Zgodnie z tymi metodami koszt wykonania określonej czynności lub zabiegu oblicza się następująco:

$$K = K_{utrz} + K_{uż} + K_c + K_{0t} + K_r \tag{8}$$

gdzie: K_{utrz} – koszt utrzymania maszyny,
$K_{uż}$ – koszt użytkowania maszyny,
K_c – koszt eksploatacji ciągnika współpracującego z maszyną,
K_{0t} – koszt obsługi transportowej,
K_r – koszt robocizny.

Koszty te przyjęto według opracowania Muzalewskiego (2009). Do obliczenia innych nakładów ekonomicznych ceny materiałów i środków produkcji wzięto z opracowania IERiGŻ (Zalewski 2009). Przyjęte koszty i ceny odnoszą się do I półrocza 2009 roku, do przeciętnych warunków występujących w gospodarstwach indywidualnych w Polsce.

Nadwyżkę bezpośrednią obliczono jako różnicę pomiędzy wartością uzyskanej produkcji (średni plon handlowy z trzech lat), a poniesionymi kosztami bezpośrednimi. Kalkulację różnicową (zwiększenie lub zmniejszenie korzyści) i wskaźnik opłacalności bezpośredniej (relacja wartości produkcji do bezpośrednich kosztów produkcji) obliczono według metody Klepackiego i Gołębiewskiej (2002).

W ocenie energochłonności technologii produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego uwzględniono wykorzystanie maszyn, pracochłonność zabiegów, dawki i formy zastosowanych nawozów. Parametry te przedstawiono w tabelach 11 i 12.

Ogólnie badania energetyczne oparto na metodzie obliczeń opracowanej w IBMER (Anuszewski i in. 1979). Wprowadzono do niej jednak pewne modyfikacje, zmierzające do ujęcia poszczególnych składników energochłonności w uogólnione formuły matematyczne. Ponadto uwzględniono w założeniach najnowsze wskaźniki energochłonności jednostkowej podawane w literaturze (Wójcicki 2000, Harasim 2002, Kamionka 2005).

Obliczenie nakładów energetycznych (E_t) poniesionych w technologii produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego oparto na następującej formule matematycznej:

$$E_t = E_C + E_M + E_T + E_R + E_E + E_N + E_{SR} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \tag{9}$$

gdzie: E_C – nakłady energetyczne użytkowania ciągników (MJ·ha^{-1}),
E_M – nakłady energetyczne użytkowania maszyn (MJ·ha^{-1}),
E_T – nakłady energetyczne użytkowania środków transportu (MJ·ha^{-1}),
E_R – nakłady energetyczne pracy ludzi (MJ·ha^{-1}),
E_E – nakłady energetyczne zużytego paliwa (MJ·ha^{-1}),
E_N – nakłady energetyczne zastosowanego nawozu (MJ·ha^{-1}),
E_{SR} – nakłady energetyczne zastosowanego środka ochrony roślin (MJ·ha^{-1}).

Poszczególne składniki nakładów energetycznych obliczono według wzorów (10-18).

Nakłady energetyczne związane z użytkowaniem ciągników:

$$E_c = \frac{M_c \cdot W_{ec}}{T_n \cdot W_{07}} + \frac{Z_c \cdot W_z}{T_n \cdot W_{07}} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \tag{10}$$

gdzie: M_c – sumaryczna masa ciągników użytych przy danym zabiegu (kg),
W_{ec} – wskaźnik jednostkowej energochłonności ciągników (MJ·ha^{-1}),
Z_c – liczba zużywanych części zamiennych i części do napraw ciągników w okresie ich żywotności (kg),
W_z – wskaźnik jednostkowej energochłonności części zamiennych (MJ·ha^{-1}),
T_n – normatywna liczba godzin pracy ciągnika (maszyny) w okresie jego użytkowania (h),
W_{07} – wydajność zestawu maszyn przy wykonywaniu danego zabiegu (ha·h^{-1}).

Nakłady energetyczne użytkowania maszyn:

$$E_M = \frac{M_M \cdot W_{em}}{T_n \cdot W_{07}} + \frac{Z_M \cdot W_z}{T_n \cdot W_{07}} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \tag{11}$$

gdzie: M_m – masa maszyn użytych do wykonania danego zabiegu (kg),
W_{em} – wskaźnik jednostkowej energochłonności maszyny (MJ·ha^{-1}),
Z_M – masa części zamiennych zużywanych w okresie żywotności maszyny (kg).

Nakłady energetyczne użytych środków transportu:

$$E_T = \frac{M_T \cdot W_{em}}{T_n \cdot W_{07}} + \frac{Z_T \cdot W_z}{T_n \cdot W_{07}} \quad (\text{MJ·ha}^{-1}) \tag{12}$$

gdzie: M_T – sumaryczna masa środków transportu użytych w danym zabiegu (kg),
Z_T – masa części zamiennych zużywanych w okresie ich żywotności (kg).

Tabela 11. Charakterystyka zabiegów agrotechnicznych i zastosowanych agregatów w doświadczeniu z ziemniakiem (2007-2009)
Table 11. Characteristics of agrotechnical treatments and implements used in field experiment with potatoes (2007-2009)

Zabiegi Treatments	Agregat Implement	Masa maszyny Machine weight	Wykorzystanie w okresie Period of use	Nakłady pracy na 1 ha Labour consumption hours ha^{-1}		Sposoby uprawy roli* Tillage methods*	
		kg	h	rbh worker	cnh tractor	TRD CST	UPR SST
Ciągnik –360 3P Tractor –360 3P	–	2455	12000	–	–	+	+
Podorywka Skimming	U-025/1	286	2000	1,7	1,7	+	–
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	–
Oprysk Roundap 360SL Spraying of Roundap 360SL	P-081/0	350	1000	0,5	0,5	–	+
Załadunek obornika Manure loading	T-365	435	5000	4,5	4,5	+	+
Roztrząsanie obornika Manure dithering	N-228	1640	1250	4,5	4,5	+	+
Orka odwrotka Reversible ploughing	U-023/1	308	2000	2,0	2,0	+	+

Orka przedzimowa Prewinter ploughing	U-023/1	308	2000	3,0	3,0	+	–
Gruberowanie Cultivation	U-418/1	278	1500	1,0	1,0	+	+
Nawożenie mineralne Mineral fertilization	N-012	100	1000	0,5	0,5	+	+
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	+
Sadzenie Planting	S-211	720	800	8,0	4,0	+	+
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	+
Opielanie Weeding	P-430/2	405	840	1,0	1,0	+	+
Obsypywanie Earthing up	P-447	250	1000	1,2	1,2	+	+
Opryskiwanie: Spraying: - chwasty -weeds	P-081/0	350	1000	0,5	0,5	+	+
- stonka i zaraza ziemniaka - other pathogens	P-081/0	350	1000	1,5	1,5	+	+
Kopanie Potato lifting	Z-609/2	730	800	3,2	3,2	+	+
Zbiór i transport Harvesting and transport	T-040	1340	6000	120	12	+	+

*Sposób uprawy roli: TRD – tradycyjny, UPR – uproszczony, *Tillage methods: *CST – conventional soil tillage, SST – simplified soil tillage.

Tabela 12. Charakterystyka zabiegów agrotechnicznych i zastosowanych agregatów w doświadczeniu z pszenżytem jarym (2006-2009)
Table 12. Characteristics of agrotechnical treatments and implements used in field experiment with spring Triticale (2007-2009)

Zabiegi Treatments	Agregat Implement	Masa maszyny Machine weight	Wykorzystanie w okresie Period of use	Nakłady pracy na 1 ha Labour consumption hours ha^{-1}		Sposoby uprawy roli* Tillage methods*	
		kg	h	rbh worker	cnh tractor	TRD CST	UPR SST
Ciągnik –360 3P Tractor –360 3P	–	2455	12000	–	–	+	+
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	–
Orka przedzimowa Ploughing	U-023/1	308	2000	3,0	3,0	+	–
Gruberowanie Cultivation	U-418/1	278	1500	1,0	1,0	+	+
Gruberowanie Cultivation	U-418/1	278	1500	1,0	1,0	+	+
Nawożenie mineralne Mineral fertilization	N-012	100	1000	0,5	0,5	+	+
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	+
Siew nasion Sowing	S-052	1070	700	0,7	0,7	+	+
Bronowanie Harrowing	U-212/2	240	1900	0,4	0,4	+	+
Nawożenie ½ N, S ½ N,S fertilization	N-012	100	1000	0,5	0,5	+	+
Chemiczna ochrona przed agrofagami Spraying – pathogens and weeds	P-081/0	350	1000	1,5	1,5	+	+

Zbiór ziarna i słomy Grain harvest and straw	Z-056 Z-961	8000 320	2000 600	1,2	1,2	+	+
Transport ziarna Grain transport	T-040	1340	6000	1,0	1,0	+	+

*Sposób uprawy roli: TRD – tradycyjny, UPR – uproszczony, *Tillage methods: CST – conventional soil tillage, SST – simplified soil tillage.

Nakłady energetyczne pracy ludzi:

$$E_R = E_0 + E_{pp} = \frac{M_T \cdot W_{em}}{W_{07} \cdot W_0} + \frac{Z_T \cdot W_z}{W_{07} \cdot W_{pp}} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \qquad (13)$$

gdzie: E_o – nakłady energetyczne pracy operatorów maszyn (traktorzystów) (MJ·ha^{-1}),
E_{pp} – nakłady energetyczne pracy pozostałych pracowników (MJ·ha^{-1}),
n_0 – liczba zatrudnionych traktorzystów,
W_o – wskaźnik jednostkowej energochłonności pracy traktorzysty (MJ·rbh^{-1}),
n_{pp} – liczba pracowników pomocniczych,
W_{pp} – wskaźnik jednostkowej energochłonności pracy pracowników pomocniczych (MJ·rbh^{-1}).

Nakłady energetyczne zużytego paliwa:

$$E_E = (G_M + G_T) \cdot W_p \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \qquad (14)$$

gdzie: G_M – zużycie paliwa przez ciągniki współpracujące z maszyną wiodącą (kg·ha^{-1}),
G_T – zużycie paliwa przez ciągniki używane w transporcie (kg·ha^{-1}),
W_p – energochłonność jednostkowa paliwa (MJ·kg^{-1}).

Zużycie paliwa obliczono według wzoru:

$$Zp = Mn \cdot Ps \cdot 0{,}13 \qquad (15)$$

gdzie: Zp – ilość zużytego paliwa (kg),
Mn – moc nominalna silnika (kW),
Ps – czas pracy silnika (h),
0,13 – współczynnik odpowiadający przeciętnemu jednostkowemu zużyciu paliwa (kg·kWh^{-1}).

Nakłady energetyczne w zastosowanych nawozach:

$$E_N = (M_N \cdot N_{CN}) \cdot W_N \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \tag{16}$$

gdzie: M_N – masa zużytego nawozu (kg·ha^{-1}),
N_{CN} – zawartość czystego składnika w zużytym nawozie (%),
W_N – energochłonność jednostkowa czystego składnika danego nawozu (MJ·kg^{-1})

Nakłady energetyczne zużytych środków ochrony roślin:

$$E_{SR} = (P_{SR} \cdot P_{SA}) \cdot W_{SR} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \tag{17}$$

gdzie: P_{SR} – zużycie środka ochrony roślin (kg, l·ha^{-1}),
P_{SA} – zawartość substancji aktywnej w środku ochrony roślin (%),
W_{SR} – energochłonność jednostkowa środka ochrony roślin (MJ·kg^{-1}).

Wskaźnik efektywności energetycznej (E*e*) obliczono według wzoru:

$$E_e = \frac{P_e}{N_e} \tag{18}$$

gdzie: P*e* – wartość energetyczna plonu uzyskanego z 1 ha (MJ); kg suchej masy plonu podstawowego ma przeciętną wartość 18,36 MJ (Wielicki 1990).
N*e* – wielkość nakładów energetycznych poniesionych na uzyskanie plonu z 1 ha (MJ).

Do obliczenia nakładów energetycznych (energochłonności) potrzebna jest znajomość jednostkowych wskaźników wyrażających równowartość energetyczną zużytych środków produkcji (maszyn, ciągnika, nawozów i innych materiałów, a także pracy ludzi). Do obliczeń przyjęto wskaźniki jednostkowe podane w opracowaniu IBMER (Wójcicki 2000) oraz w pracach innych autorów, zestawiono je w tabeli 13.

Wielkość jednostkowych nakładów energetycznych skumulowanych w ciągnikach i maszynach rolniczych odnosi się do 1 kg ich masy (tab. 11 i 12). Zużycie maszyn określono w kg·h^{-1} ich pracy i przeliczono na MJ. Masę części zamiennych określano na poziomie 30% zużycia (masy) ciągników i maszyn. Materiały zużyte do napraw stanowiły 4% masy części zamiennych, a smary 4% zużytego paliwa (Harasim 2002).

We wcześniejszej pracy (Sachajko 2010) opisano szczegółowo zastosowane metody, według których przeprowadzono obliczenia statystyczne wyników badań. Po przeprowadzeniu analizy wariancji (Trętowski i Wójcik 1988, Hanusz i in. 2003) istotność różnic oceniono testem Tukeya ($\alpha = 0{,}05$, $\alpha = 0{,}01$), które następnie poddano analizie post-hoc (po fakcie). W celu interpretacji wyników badań obliczono także błąd standardowy, prawdopodobieństwo rozkładu F, współczynnik zmienności (CV%), współczynniki korelacji, determinacji i regresji

liniowej. W niniejszej pracy celem porównania istotnych rożnic pomiędzy średnimi przedstawiono w tabelach jedynie anlizę post-hoc (po fakcie).

Tabela 13. Wartości jednostkowych wskaźników energochłonności
Table 13. Values of unit energy indicators

Wyszczególnienie Description	Symbol wskaźnika Indicator symbol	Jednostka miary Unit	Wartość wskaźnika Indicator value	Literatura (autor) Literature (author)
Ciągniki i maszyny Tractors and machinery	W_{ec}, W_{Em}	$MJ \cdot kg^{-1}$	112	Harasim 2002
Części zamienne Spare parts	W_z	$MJ \cdot kg^{-1}$	80	Harasim 2002
Materiały do napraw Materials for repairs	W_m	$MJ \cdot kg^{-1}$	30	Harasim 2002
Smary – Lubricants	W_s	$MJ \cdot kg^{-1}$	22	Harasim 2002
Traktorzyści – Tractor Operator	W_o	$MJ \cdot rbh^{-1}$	80	Wójcicki 2000
Pracownicy pomocniczy Auxiliary worker	W_{pp}	$MJ \cdot rbh^{-1}$	50	Wójcicki 2000
Olej napędowy Diesel fuel	W_p	$MJ \cdot kg^{-1}$	48	Harasim 2002
Nawozy azotowe Nitrogenous fertilizers	W_N	$MJ \cdot kg^{-1}$	77	Wójcicki 2000
Nawozy fosforowe Phosphatic fertilizers	W_P	$MJ \cdot kg^{-1}$	14	Harasim 2002
Nawozy potasowe Potassic fertilizers	W_K	$MJ \cdot kg^{-1}$	10	Harasim 2002
Nawozy siarkowe Suphur fertilizers	W_S	$MJ \cdot kg^{-1}$	14	Klikocka 2006
Obornik – Manure	W_{ob}	$MJ \cdot t^{-1}$	200	Harasim 2002
Środki ochrony roślin (SA) Plant protection agents (a.i.)	W_{SR}	$MJ \cdot kg^{-1}$	300	Harasim 2002
Ziarno siewne Grain for sowing	W_{zs}	$MJ \cdot kg^{-1}$	7,5	Pawlak 1998
Ziemniaki sadzeniaki Seed potatoes	W_{sd}	$MJ \cdot kg^{-1}$	2,5	Pawlak 1998

5. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

5.1. Agrotechnologia ziemniaka

5.1.1 Cechy technologiczne, jakość i skład chemiczny bulw

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Generalnie, analiza wariancji wykazała, że różnice w wielkości plonu ogólnego bulw (cecha 1), handlowego bulw (cecha 2), sadzeniaków (cecha 3) oraz średniej masy 1 bulwy i plonu bulw z 1 rośliny (cechy 5 i 6), plonu i udział w plonie frakcji od 50 do 60 mm (cechy 12 i 13) były statystycznie istotne w zależności od zastosowanego sposobu uprawy roli (czynnik I). Natomiast takie cechy jak: liczba bulw z 1 rośliny (cecha 4) oraz plon i udział bulw frakcji poniżej 30 mm (cechy 7 i 8), a także odpowiednio obie cechy powiazane z frakcjami bulw od 30 do 40 mm (cechy 9 i 10), od 40 do 50 mm (cechy 11 i 12) i powyżej 60 mm (cechy 15 i 16) nie uległy istotnemu różnicowaniu pod wpływem sposobu uprawy roli. W przypadku drugiego zastosowanego czynnika, jakim było zróżnicowane nawożenie mineralne, takie cechy jak: plon ogólny bulw (cecha 1), handlowy bulw (cecha 2), sadzeniaków (cecha 3) oraz średnia masa 1 bulwy i plon bulw z 1 rośliny (cechy 5 i 6), plon i udział w plonie bulw frakcji do 30 mm (cechy 7 i 8) oraz plon frakcji od 40 do 50 mm (cecha 11) były istotnie zróżnicowane. Natomiast średnia liczba bulw z 1 rośliny (cecha 4), plon i udział w plonie bulw frakcji od 30 do 40 mm (cechy 9 i 10) i odpowiednio te pary cech powiązane z frakcjami bulw od 50 do 60 mm (cechy 13 i 14), powyżej 60 mm (cechy 15 i 16) i udział w plonie bulw frakcji od 40 do 50 mm (cecha 11) nie zależały od zastosowanego nawożenia mineralnego. Przeprowadzona analiza wariancji w przypadku omawianych cech ziemniaka (plon bulw i jego struktura) nie wykazała istotnego współdziałania czynników zastosowanych w doświadczeniu. Oznacza to, że porównując interakcję czynnika I (uprawa roli) na tle różnych poziomów czynnika II (nawożenie mineralne) nie było odmiennej reakcji, wynikającej ze współdziałania uprawy roli z nawożeniem siarką.

W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano jego istotny wpływ w odniesieniu do: plonu ogólnego bulw (cecha 1), plonu bulw z 1 rośliny (cecha 6), plonu i udział frakcji od 30 do 40 mm (cechy 9 i 10) oraz udział bulw frakcji od 50 do 60 mm (cecha 14). Inne badane cechy nie były istotnie różnicowane przez czynnik pogodowy.

Spośród porównywalnych cech ziemniaka, w zależności od zastosowanej zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia mineralnego bardzo stabilne okazały się: plon ogólny, handlowy bulw i sadzeniaków (cechy 1-3), liczba bulw z 1 rośliny (cecha 4), średnia masa 1 bulwy (cecha 5), plon bulw z 1 rośliny (cecha 6) oraz

plon i udział frakcji bulw od 30 do 40 cm (cechy 9 i 10) i powyżej 60 mm (cechy 15 i 16). Zmienność omawianych cech była niewielka (*CV%* = 2,95-8,10), zatem zastosowane czynniki oddziaływały podobnie, tak więc trudno jednoznacznie wskazać ten czynnik, który wpływał na cechy w większym stopniu. Największą zmiennością w zależności od zastosowanej uprawy roli charakteryzowały się plon i frakcja bulw od 50 do 60 mm (cechy 13 i 14) i udział bulw frakcji od 40 do 50 mm (cecha 12); (*CV%* = 13,04-21,14). Natomiast największą zmiennością w zależności od wariantów nawożenia mineralnego charakteryzowały się w kolejności: udział bulw frakcji od 40 do 50 mm (cecha 11) oraz plon i frakcja do 30 mm (cechy 7 i 8) (*CV%* = 15,60-79,20).

Wartość badanych cech ziemniaka wskazywała dużą zmienność (*CV%*) w poszczególnych latach badań, a także pod wpływem współdziałania warunków meteorologicznych z uprawą roli i nawożeniem mineralnym.

Analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli (A) w stosunku do uproszczonej uprawy roli (B) na wzrost plonu ogólnego, handlowego bulw i sadzeniaków (cechy 1-3) oraz plonu z 1 rośliny (cecha 6), plonu i udziału frakcji od 50 do 60 mm (cechy 13 i 14); (tab. 14 i 15). W przypadku pozostałych badanych cech struktury plonu nie stwierdzono istotnego oddziaływania zróżnicowanej uprawy roli, chociaż zauważono korzystną tendencję po zastosowaniu tradycyjnej uprawy roli (A) na wzrost średniej liczby (cecha 4) i masy bulw z 1 rośliny (cecha 5) oraz plonu i udziału bulw frakcji do 30 mm (cechy 7 i 8) i ponad 60 mm (cechy 15 i 16). Pozostałe frakcje bulw kształtowały się korzystniej pod wpływem uprawy uproszczonej (B), chociaż nie potwierdzono tego statystycznie. Oznacza to, że uprawa tradycyjna wpływa korzystnie na zawiązywanie większej liczby bulw najdrobniejszych (które nie są uwzględniane w plonie handlowym i sadzeniaków) i dużych (które mogą być przeznaczone na sprzedaż), natomiast uprawa uproszczona sprzyja rozwojowi bulw frakcji pośrednich, co może zostać wykorzystane w praktyce, jako metoda produkcji sadzeniaków (tab. 14 i 15).

W przypadku zróżnicowanego nawożenia mineralnego (czynnik 2) analiza wyników badań wykazała korzystny wpływ nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę na plon ogólny, handlowy bulw i sadzeniaków (cechy 1 i 3), średnią masę 1 bulwy (cecha 5), plon z 1 rośliny (cecha 6) oraz plon bulw frakcji od 40 do 50 mm (cecha 11). Natomiast plon i udział bulw frakcji do 30 mm (cechy 7 i 8) wykazały istotny wzrost po zastosowaniu podstawowego nawożenia NPK. W przypadku innych cech nawożenie mineralne nie powodowało istotnych różnic, chociaż zauważono korzystną tendencję oddziaływania nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę na: średnią liczbę bulw (cecha 4), plon i udział wszystkich frakcji bulw powyżej 30 mm (cechy 9 i 16). Oznacza to, że nawożenie siarką wpłynęło korzystnie na wzrost udziału frakcji bulw handlowych i sadzeniaków,

a zarazem na zmniejszenie udziału frakcji <30 mm, która nie ma towarowego znaczenia. Wynik ten jest ważny w praktyce, jako metoda zwiększania plonu bulw handlowych i sadzeniaków.

Tabela 14. Wartości badanych cech technologicznych ziemniaka i ich analiza *post-hoc*
Table 14. Values of technological traits of potato and their *post-hoc* analysis

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Lata Years	Plon bulw ($t \cdot ha^{-1}$) ogólny total	handlowy commercial	sadzeniaków seed tubers	Liczba bulw (szt.) Number of tubers (piece)	Masa bulw Weight of tubers (g)	Plon 1 rośl. Yield per 1 plant (g)
			Tuber yield ($t\ ha^{-1}$)					
Cecha – Test characteristic			1	3	4	4	5	6
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	26,4	22,4	22,3	13,7	48,9	668
		2008	34,8	30,6	24,5	15,5	49,3	860
		2009	27,3	23,1	21,9	13,2	46,5	688
	Średnio – Mean		29,5 *a*	25,4 *a*	22,9 *a*	14,2 *a*	48,2 *a*	739 *a*
	50 S	2007	27,9	25,5	23,9	17,0	53,0	702
		2008	33,6	27,6	30,4	21,1	58,5	832
		2009	35,3	28,8	28,6	17,8	72,3	871
	Średnio		32,3 *a*	27,3 *a*	27,7 *a*	18,6 *a*	61,3 *a*	802 *a*
	Średnio – Mean A		30,9 B	26,3 B	25,3 B	16,4 A	54,7 A	770 B
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	21,0	18,7	19,1	13,5	40,7	546
		2008	26,6	17,0	23,1	15,0	44,8	673
		2009	31,1	25,7	22,9	14,2	54,7	775
	Średnio – Mean		26,2 *a*	20,5 *a*	21,7 *a*	14,2 *a*	46,8 *a*	665 *a*
	50 S	2007	25,7	25,3	21,0	13,2	50,5	653
		2008	29,6	25,5	25,5	15,21	48,5	742
		2009	29,8	22,9	22,4	14,2	52,3	747
	Średnio – Mean		28,4 *a*	24,6 *a*	22,9 *a*	14,3 *a*	50,4 *a*	714 *a*
	Średnio – Mean B		27,3 A	22,5 A	22,3 A	14,2 A	48,6 B	689 A
Średnio Nawożenie Mean of fertilization	0 S		27,9 a	22,9 a	22,3 a	14,2a	47,5 a	702 a
	50 S		30,3 b	25,9 b	25,3 b	16,4 a	55,8 b	758 b
Średnio W latach Mean of years	2007		25,3 *a*	22,9 *a*	21,6 *a*	14,4 *a*	48,3 *a*	642 *a*
	2008		31,2 *b*	25,2 *a*	25,9 *a*	16,7 *a*	50,3 *a*	777 *b*
	2009		30,9 *b*	25,1 *a*	24,0 *a*	14,9 *a*	56,5 *a*	770 *b*
Średnio – Mean			29,1	24,4	23,8	15,3	51,67	730

Objaśnienia – średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – Explanations: means marked with the same letters do not differ significantly.

W przypadku współdziałania czynników agrotechnicznych odnotowano korzystny wpływ wzbogacenia nawożenia NPK w siarkę w przypadku każdego sposobu uprawa roli, na wzrost wartości takich cech, jak: plon ogólny (cecha 1), plon handlowy bulw (cecha 2), plon sadzeniaków (cecha 3), średnia liczba i masa 1 bulwy (cechy 4 i 5), plon z 1 rośliny (cecha 6), plon i udział frakcji od 40 do 50 mm (cechy 11 i 12). Natomiast w przypadku innych cech stwierdzono, że nawożenie podstawowe NPK na tle każdego poziomu uprawy roli (czynnik 1) było korzystniejsze od wzbogaconego w siarkę.

W tabeli 16 przedstawiono istotne współzależności pomiędzy plonami bulw, a elementami struktury plonu. Z plonem ogólnym (cecha 1), handlowym bulw (cecha 2) i plonem sadzeniaków (cecha 3) korelowała istotnie średnia masa 1 bulwy (cecha 5), natomiast nie stwierdzono istotnego współdziałania z liczbą bulw z 1 rośliny (cecha 4). Dlatego też można przyjąć, że masa 1 bulwy jest istotnym predykatorem dla oszacowania plonu ogólnego, handlowego bulw i sadzeniaków.

Warunki meteorologiczne: opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji ziemniaka w latach 2008 i 2009 wpłynęły istotnie korzystnie na wielkość plonu ogólnego bulw (cecha 1), plonu z 1 rośliny (cecha 6), plonu i udziału frakcji do 30 mm (cechy 7 i 8). Jedynie w roku 2007 w porównaniu do pozostałych lat badań odnotowano większy udział frakcji powyżej 60 mm (cecha 16). W przypadku pozostałych cech nie stwierdzono istotnego wpływu czynnika pogodowego (tab. 14 i 15).

W pracy Sachajki (2010) w rozdziale obejmującym metodykę badań szczegółowo przedstawiono rozkład opadów atmosferycznych i średnią temperaturę powietrza. W niniejszym opracowaniu w rozdziale charakteryzującym obiekt badań podano wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, który wynosił odpowiednio w sezonach wegetacyjnych (IV-IX): 2007 – 1,3 (dość suchy), 2008 – 1,5 (dość wilgotny) i 2009 – 1,1 (suchy). Jednakże, celem dokładniejszej analizy wyników badań, w tabeli 17 przedstawiono współzależności (współczynniki korelacji i determinacji) pomiędzy omawianymi cechami, a sumą opadów atmosferycznych i średnią temperaturą powietrza, obliczonymi dla całego okresu wegetacji (IV-IX), oraz okresów V-VI i VII-VIII.

Na podstawie tych obliczeń stwierdzono, że plon ogólny bulw (cecha 1) i plon z 1 rośliny (cecha 6) korelowały istotnie dodatnio z sumą opadów okresu V-VI i średnią temperaturą powietrza okresu VII-VIII, natomiast ujemnie ze średnią temperaturą okresu V-VI. Liczba bulw z 1 rośliny (cecha 4) była w istotnym dodatnim związku z sumą opadów całego okresu wegetacyjnego i okresu VII- VIII, natomiast w ujemnym ze średnią temperaturą całego okresu wegetacyjnego IV-IX. Średnia masa 1 bulwy (cecha 5) istotnie dodatnio zależała od opadów atmosferycznych okresu V-VI i średniej temperatury okresu wegetacyjnego IV-IX, natomiast była ujemnie skorelowana średnią temperaturą okresu V-VI. Plon bulw frakcji 31-40 mm (cecha 9) korelował istotnie dodatnio z sumą opadów okresu V-VI oraz

Tabela 15. Wartości badanych cech technologicznych ziemniaka i ich analiza *post-hoc* według frakcji bulw (plony bulw - t·ha^{-1}, udział frakcji – %)
Table 15. Values of technological traits of potato and their *post-hoc* analysis relating to tuber fractions (tuber yield - t ha^{-1} , percentage share of fractions)

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilizer	Lata Years	<30 mm		30-40 mm		40-50 mm		50-60 mm		> 60 mm	
			t·ha^{-1}	%	t·ha^{-1}	%	t·ha^{-1}	%	t·ha^{-1}	%	t·ha^{-1}	%
Cecha – Test characteristic			7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	0,5	2,5	3,4	13,3	4,9	19,5	13,9	50,9	3,5	13,6
		2008	1,2	3,2	3,0	8,7	5,3	15,8	16,1	46,1	9,2	26,1
		2009	0,3	1,1	3,9	15,6	10,3	38,0	7,6	27,8	5,1	17,4
	Średnio – Mean		0,7 *a*	2,3 *a*	3,5 *a*	12,6 *a*	6,9 *a*	24,4 *a*	12,6 *a*	41,6 *a*	5,9 *a*	19,1 *a*
	50 S	2007	0,1	0,3	2,3	8,6	7,9	29,0	13,7	49,3	3,9	12,8
		2008	0,2	0,7	5,7	17,5	10,6	32,0	14,1	41,7	2,9	8,0
		2009	0,1	0,2	6,4	17,3	9,6	27,7	12,6	35,6	6,6	19,2
	Średnio – Mean		0,1 *a*	0,4 *a*	4,8 *a*	14,5 *a*	9,3 *a*	29,5 *a*	13,5 *a*	42,2 *a*	4,5 *a*	13,3 *a*
	Średnio – Mean A		0,4 A	1,4 A	4,2 A	13,5 A	8,1 A	27,0 A	13,0 B	41,9 B	5,2 A	16,2 A
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	0,3	1,2	2,1	9,6	7,1	33,7	9,9	47,8	1,7	7,6
		2008	1,4	4,7	8,2	30,5	8,7	32,7	6,2	24,8	2,1	7,3
		2009	0,7	2,2	4,7	15,5	8,1	27,3	10.2	31,9	7,5	23,1
	Średnio – Mean		0,8 *a*	2,7 *a*	5,0 *a*	18,5 *a*	7,9 *a*	31,2 *a*	8,8 *a*	34,7 *a*	3,7 *a*	12,6 *a*
	50 S	2007	0,0	0,0	0,5	2,0	8,2	33,4	12,4	46,9	4,7	17,7
		2008	0,1	0,2	4,1	14,5	13,3	44,3	8,1	27,6	4,1	13,3
		2009	0,1	0,3	6,9	23,0	11,4	39,1	4,1	13,8	7,4	23,8

	Średnio – Mean	0,5 *a*	0,2 *a*	3,8 *a*	13,2 *a*	10,9 *a*	38,9 *a*	8,2 *a*	29,5 *a*	5,4 *a*	18,3 *a*
	Średnio – Mean B	0,4 A	1,4 A	4,4 A	15,9 A	9,4 A	35,1 A	8,5 A	32,2 A	4,6 A	15,5 A
Średnio Nawożenie Mean of fertilization	0 S	0,7 b	2,5b	4,2 a	15,6 a	7,4 a	27,8 a	10,7 a	38,2 a	4,8 a	15,9 a
	50 S	0,1 a	0,3 a	4,3 a	13,8 a	10,2 b	34,2 a	10,8 a	35,8 a	4,9 a	15,8 a
Średnio w latach Mean of years	2007	0,2 *a*	1,0 *a*	2,2 *a*	8,4 *a*	7,0 *a*	28,9 *a*	12,5 *a*	48,7 *b*	3,5 *a*	12,9 *a*
	2008	0,7 *a*	2,2 *a*	5,3 *b*	17,8 *b*	9,5 *a*	31,2 *a*	11,1 *a*	35,1 *a*	4,6 *a*	13,7 *a*
	2009	0,3 *a*	1,0 *a*	5,5 *b*	17,9 *b*	9,8 *a*	33,0 *a*	8,6 *a*	27,3 *a*	6,6 *a*	20,9 *a*
Średnio – Mean		0,4	1,4	4,3	14,7	8,8	31,0	10,7	37,0	4,9	15,8

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

ze średnią temperaturą okresu VII-VII, natomiast odwrotnie kształtowała się zależność plonu bulw frakcji 51-60 mm (tab. 17). Na podstawie analizy wyników można zauważyć, że opady V-VI wpływały korzystnie na zawiązywanie się bulw, o czym świadczy większa ich średnia liczba spod krzaka, natomiast opady VII-VIII wpływały korzystnie na średnią masę 1 bulwy. Ponadto, stwierdzono że wszystkie badane cechy technologiczne były ujemnie skorelowane ze średnią temperaturą okresu V-VI, natomiast dodatnio ze średnią temperaturą okresu VII-VIII).

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań, dotyczących jakości i składu chemicznego bulw ziemniaka przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Generalnie, analiza wariancji wykazała, że zróżnicowana uprawa roli (czynnik I) powodowała statystycznie istotne różnice w wielkości plonu suchej masy (cecha 18), zawartości i plonu skrobi (cechy 19 i 20), zawartości i plonu białka ogólnego (cechy 21 i 22) oraz zawartości azotu w suchej masie bulw (cecha 23); (tab. 18). Natomiast w przypadku takich cech jak: zawartość suchej masy (cecha 17), zawartość siarki w suchej masie bulw (cecha 24) oraz stosunek zawartości N:S (cecha 25) zróżnicowana uprawa roli nie powodowała statystycznie istotnych różnic.

Tabela 16. Istotne współzależności pomiędzy plonem bulw ziemniaka i elementami jego struktury
Table 16. Significant relationships between the yield of the potato tubers and elements of its structure

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient		Równanie regresji Regression equation Y = ax + b
		korelacji correlation (r)	determinacji determination (r^2)	
Plon ogólny bulw – Total tubers yield ($t \cdot ha^{-1}$)				
Plon handlowy bulw Commercial tubers yields ($t \cdot ha^{-1}$)	2	0,770**	0,593**	Y = 0,719x + 11,53
Plon sadzeniaków Yield of seed potatoes ($t \cdot ha^{-1}$)	3	0,575**	0,331**	Y = 0,595x + 14,94
Średnia masa 1 bulwy Average weight of 1 tuber (g)	5	0,797**	0,635**	Y = 0,395x + 8,29
Plon bulw z 1 rośliny The yield of tubers with plants (g)	6	0,992**	0,985**	Y = 0,044x – 3,00
Plon bulw frakcji 51-60 mm Tuber yield of fraction 51-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	13	0,373**	0,139**	Y = 0,370x + 25,12
Plon bulw frakcji > 60 mm Tuber field of fraction > 60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	15	0,466**	0,217**	Y = 0,516x + 26,58

Plon handlowy bulw – Commercial tubers yield ($t \cdot ha^{-1}$)				
Średnia masa 1 bulwy Average weight of 1 tuber (g)	5	0,677**	0,459**	Y = 0,359x + 5,46
Plon bulw z 1 rośliny Yield of tubers with plants (g)	6	0,770**	0,593**	Y = 0,036x – 2,06
Plon bulw frakcji 31-40 mm Tuber yield of fraction 31-40 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	9	0,428**	0,183**	Y =–0,679x + 27,33
Plon bulw frakcji 51-60 mm Tuber yield of fraction 51-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	13	0,602**	0,363**	Y = 0,640x + 17,53
Plon bulw frakcji > 60 mm Tuber yield of fraction > 60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	15	0,570**	0,325**	Y = 0,676x + 21,11
Plon bulw sadzeniaków – Yield of seed potatoes ($t \cdot ha^{-1}$)				
Średnia masa 1 bulwy Average weight of 1 tuber (g)	5	0,324*	0,105*	Y = 0,155x + 15,58
Plon bulw z 1 rośliny Yield of tubers per 1 plant (g)	6	0,575**	0,331**	Y = 0,024x + 5,92
Plon bulw frakcji 31-40 mm Tuber yield of fraction 31-40 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	9	0,407**	0,166**	Y = 0,585x + 21,30
Plon bulw frakcji 41-50 mm Tuber yield of fraction 41-50 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	11	0,434**	0,188**	Y = 0,501x + 19,40
Plon bulw frakcji 51-60 mm Tuber yield of fraction 51-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	13	0,326*	0,106*	Y = 0,312x + 20,44
Plon bulw frakcji > 60 mm Tuber yield of fraction > 60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	15	0,439**	0,193**	Y =–0,471x + 26,11

Objaśnienia: istotne przy $\alpha = 0,05$*, istotne przy $\alpha = 0,01$** – Explanations: significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

Tabela 17. Współzależności pomiędzy cechami plonu (n = 48) a wybranymi czynnikami meteorologicznymi
Table 17. Relationship between characteristics of yield (n = 48) and meteorological factors

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient	Suma opadów atmosferycznych Total precipitation (mm)			Średnia temperatura powietrza Average air temperature (°C)		
			IV-IX	V-VI	VII-VIII	IV-IX	V-VI	VII-VIII
Plon ogólny bulw Total yuield of tubers ($t \cdot ha^{-1}$)	1	r	0,101	0,326*	–0,130	0,135	–0,486**	0,373**
		r^2	0,010	0,106*	0,017	0,018	0,236**	0,139**
Plon handlowy bulw Commercial tubers yield ($t \cdot ha^{-1}$)	2	r	0,034	0,118	–0,049	0,051	–0,174	0,135
		r^2	0,001	0,014	0,002	0,003	0,030	0,018
Plon sadzeniaków Yield of seed potatoes ($t \cdot ha^{-1}$)	3	r	0,198	0,092	0,055	–0,052	–0,252	0,133
		r^2	0,039	0,008	0,003	0,003	0,064	0,018
Liczba bulw z 1 rośliny (szt.) Number tubers per 1 plant (piece)	4	r	0,457**	–0,138	0,326*	–0,322*	–0,134	–0,077
		r^2	0,209**	0,019	0,106*	0,104*	0,018	0,006
Średnia masa 1 bulwy Average weight of 1 tuber (g)	5	r	–0,171	0,358*	–0,295	0,297*	–0,342*	0,364*
		r^2	0,029	0,128*	0,087	0,088	0,117*	0,133*
Plon bulw z 1 rośliny Yield of tubers per 1 plant (g)	6	r	0,099	0,316*	–0,125	0,128	–0,468**	0,337*
		r^2	0,001	0,100*	0,016	0,017	0,232**	0,116*
Plon bulw frakcji do 30 mm Tuber yield of fraction up to 30 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	7	r	0,215	–0,045	0,142	–0,140	–0,089	–0,014
		r^2	0,046	0,002	0,020	0,020	0,008	0,000
Plon bulw frakcji 31-40 mm Tuber yield of fraction 31-40 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	9	r	0,043	0,308*	–0,151	0,155	–0,423**	0,344*
		r^2	0,002	0,095*	0,023	0,024	0,179**	0,119*

Plon bulw frakcji 41-50 mm Tuber yield of fraction 41-50 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	11	r	0,010	0,214	–0,116	0,118	–0,280	0,235
		r^2	0,000	0,046	0,013	0,014	0,078	0,055
Plon bulw frakcji 51-60 mm Tuber yield of fraction 51-60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	13	r	0,153	–0,295*	0,250	–0,252	0,273	–0,298*
		r^2	0,024	0,087*	0,063	0,063	0,075	0,089*
Plon bulw frakcji 60 mm Tuber yield of fraction 60 mm ($t \cdot ha^{-1}$)	15	r	–0,140	0,272	–0,230	0,231	–0,252	0,275
		r^2	0,020	0,074	0,053	0,054	0,063	0,075

Objaśnienia: r – współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, istotne przy $\alpha = 0{,}05$*, istotne przy $\alpha = 0{,}01$** – Explanations: r – correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

W przypadku drugiego czynnika, jakim było zróżnicowane nawożenie mineralne, istotne różnice stwierdzono w odniesieniu do zawartości suchej masy (cecha 17), plonu skrobi (cecha 20), zawartości i plonu białka ogólnego (cechy 21 i 22) oraz zawartości azotu (cecha 23) i siarki (cecha 24) w suchej masie bulw. Natomiast w przypadku plonu suchej masy (cecha 18), zawartości skrobi (cecha 22) i stosunku N:S (cecha 25) nie stwierdzono istotnej zależności od badanego czynnika.

Analiza wariancji jedynie w przypadku zawartości białka (cecha 21) i azotu (cecha 23) oraz stosunku N:S (cecha 25) w suchej masie bulw wykazała istotne współdziałanie czynników zastosowanych w doświadczeniu. Oznacza to, że wymienione cechy były istotnie kształtowane przez oba badane czynniki, to jest uprawę roli i nawożenie mineralne z dodatkiem siarki. W odniesieniu do większości innych cech nie odnotowano istotnego oddziaływania czynników.

W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano jego na ogół istotny wpływ na badane cechy, z wyjątkiem plonu białka (cecha 22).

Tabela 18. Wartości badanych cech jakościowych i składu chemicznego ziemniaka oraz ich analiza *post-hoc*
Table 18. Values of tested quality characteristics and chemical composition of potato and their *post-hoc* analysis

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilizer	Lata Years	Sucha masa Dry matter		Skrobia Starch		Białko ogólne Total protein		Zawartość $g \cdot kg^{-1}$ s.m. Content $g\ kg^{-1}$ s.m.		Stosunek N:S Ratio N:S
			%	$t \cdot ha^{-1}$	%	$t \cdot ha^{-1}$	%	$kg \cdot ha^{-1}$	N-og.	S-og.	
Cecha – Test characteristic			17	18	19	20	21	22	23	24	25
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	23,4	6,16	13,1	3,46	9,4	578,2	15,01	1,21	12,44
		2008	22,1	7,72	15,1	5,25	8,3	645,6	13,35	1,21	11,08
		2009	22,7	6,21	16,4	4,48	8,9	552,8	14,26	1,37	10,40
	Średnio – Mean		22,8 *a*	6,70 *a*	14,9 *a*	4,39 *a*	8,9 *b*	592,2 *a*	14,21 *b*	1,26 *a*	11,31 *b*
	50 S	2007	21,4	5,97	14,6	4,07	9,8	584,9	15,69	1,39	11,31
		2008	22,0	7,38	15,5	5,23	8,3	611,4	13,27	1,26	10,71
		2009	21,2	7,48	14,8	5,20	8,7	647,3	13,85	1,48	9,41
	Średnio – Mean		21,5 *a*	6,94 *a*	15,0 *a*	4,83 *a*	8,9 *b*	614,5 *a*	14,27 *b*	1,38 *a*	10,48 *a*
	Średnio – Mean A		22,1 B	6,82 B	14,9 B	4,61 B	8,9 B	603,4 B	14,24 B	1,32 A	10,89 A
Uproszczona Simpli-fied B	0 S	2007	22,6	4,75	14,8	3,12	8,2	391,9	13,19	1,23	10,78
		2008	22,2	5,89	14,6	3,87	8,3	488,2	13,26	1,14	11,62
		2009	22,4	6,97	14,5	4,51	7,8	547,7	12,55	1,46	8,65
	Średnio – Mean		22,4 *a*	5,87 *a*	14,6 *a*	3,83 *a*	8,1 *a*	475,9 *a*	13,00 *a*	1,28 *a*	10,35 *a*

	50 S	2007	21,9	5,63	13,4	3,45	9,3	523,3	14,87	1,25	11,95
		2008	22,1	6,56	15,7	4,67	8,6	567,4	13,77	1,25	11,04
		2009	20,4	6,11	15,0	4,48	9,1	556,9	14,58	1,44	10,14
	Średnio – Mean		21,5 *a*	6,10 *a*	14,7 *a*	4,20 *a*	9,0 *b*	549,2 *a*	14,41 *b*	1,31 *a*	11,04 *a b*
	Średnio – Mean B		21,9 A	5,99 A	14,7 A	4,02 A	8,6 A	512,6 A	13,70 A	1,30 A	10,69 A
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S		22,6 b	6,28 a	14,7 a	4,11 a	8,5 a	534,1 a	13,60 a	1,27 a	10,83 a
	50 S		21,5 a	6,52 a	14,8 a	4,52 b	9,0 b	581,9 b	14,34 b	1,35 b	10,76 a
Średnio w latach Mean of years		2007	22,3 *b*	5,63 *a*	14,0 *a*	3,53 *a*	9,2 *c*	519,6 *a*	14,69 *c*	1,27 *a*	11,62 *b*
		2008	22,1 *b*	6,89 *b*	15,2 *c*	4,75 *b*	8,4 *a*	578,2 *a*	13,41 *a*	1,22 *a*	11,11 *b*
		2009	21,7 *a*	6,69 *b*	15,2 *b*	4,67 *b*	8,6 *b*	576,2 *a*	13,81 *b*	1,44 *b*	9,65 *a*
Średnio – Mean			22,0	6,40	14,8	4,32	8,7	558,0	13,97	1,31	10,79

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

Badane cechy ziemniaka, ukształtowane zróżnicowaną uprawą roli i nawożeniem mineralnym okazały się bardzo stabilne (*CV%* = 0,45-6,50). Jedynie plon skrobi (cecha 20) i plon białka (cecha 22) charakteryzowały się nieco wyższym współczynnikiem zmienności (*CV%* = 2,65-8,14). Wartość badanych cech ziemniaka podlegała silniejszej zmienności (*CV%*) w poszczególnych latach pod wpływem czynnika pogodowego (*CV%* = 1,16-12,94) i współdziałaniem tych warunków klimatycznych z uprawą roli i nawożeniem mineralnym (*CV%* = 3,32-16,18), aniżeli bezpośrednim działaniem pojedynczego czynnika.

Analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli (A) w stosunku do uproszczonej uprawy roli (B) na zwiększenie wartości wszystkich badanych cech, charakteryzujących jakość i skład chemiczny bulw ziemniaka (tab. 18). Jedynie w przypadku zawartości siarki w suchej masie (cecha 24) i stosunku N:S (cecha 25) zależności tej nie potwierdzono statystycznie, chociaż stwierdzono zauważono tendencję korzystniejszego wpływu uprawy tradycyjnej.

W przypadku zróżnicowanego nawożenia mineralnego (czynnik 2) analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę na plon skrobi (cecha 20) i białka (cecha 22) oraz zawartości białka ogólnego (cecha 21), zawartości azotu ogólnego (cecha 23) i siarki (cecha 24) w suchej masie bulw. Zawartość suchej masy (cecha 17) wzrastała istotnie w bulwach po zastosowaniu podstawowego nawożenia NPK. W przypadku innych cech, jak: plon suchej masy (cecha 18), zawartość skrobi (cecha 19) i stosunek N:S (cecha 25) nawożenie mineralne nie powodowało istotnych różnic, chociaż w przypadku dwóch pierwszych cech zauważono korzystną tendencję oddziaływania nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę.

Jednakże kombinacja ta w odniesieniu do nawożenia kontrolnego NPK zawężała stosunek N:S (tab. 18). Wzbogacenie nawożenia NPK w siarkę w przypadku każdego sposobu uprawy roli wpływało na wzrost zawartości i plonu białka ogólnego (cechy 21 i 22) oraz zawartości azotu ogólnego w suchej masie bulw (cecha 23). W przypadku stosunku N:S (cecha 25) trudno jednoznacznie określić wzajemne oddziaływanie czynnika 2 na tle czynnika 1. Natomiast inne cechy nie były istotnie różnicowane pod wpływem interakcji badanych czynników.

Z plonami ogólnym (cecha 1), handlowym bulw (cecha 2) i sadzeniaków (cecha 3) korelowały istotnie dodatnio plony suchej masy (cecha 18), skrobi (cecha 20) i białka ogólnego (cecha 22) (tab. 19). Natomiast w przypadku związku składu chemicznego (zawartości składników) z plonem bulw nie stwierdzono istotnej korelacji.

Tabela 19. Współzależności pomiędzy plonem świeżej masy bulw ziemniaka a elementami jego jakości
Table 19. Relations between yield of fresh tuber mass and its quality

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient korelacji correlation (r)	 determinacji determination (r^2)	Równanie regresji Regression equation Y = ax + b
Plon ogólny bulw– Total yield of tubers ($t \cdot ha^{-1}$)				
Plon suchej masy Yield of dry matter ($t \cdot ha^{-1}$)	18	0,980**	0,961	Y = 4,601x – 0,35
Plon skrobi Yield of starch ($t \cdot ha^{-1}$)	20	0,960**	0,921	Y = 5,89x + 3,69
Plon białka og. Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	22	0,924**	0,985	Y = 0,051x +0,66
Plon handlowy bulw– Commercial tubers yield ($t \cdot ha^{-1}$)				
Plon suchej masy Yield of dry matter ($t \cdot ha^{-1}$)	18	0,767**	0,588	Y =3,852x 0,24
Plon skrobi Yield of starch ($t \cdot ha^{-1}$)	20	0,727**	0,528	Y = 4,774x + 3,82
Plon białka og. Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	22	0,772**	0,596	Y = 0,045x – 1,02
Plon bulw sadzeniaków– Yield of seed potato tubers ($t \cdot ha^{-1}$)				
Plon suchej masy Yield of dry matter ($t \cdot ha^{-1}$)	18	0,571**	0,326**	Y = 2,593x + 7,20
Plon skrobi Yield of starch ($t \cdot ha^{-1}$)	20	0,570**	0,325**	Y = 3,388x +9,18
Plon białka og. Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	22	0,529**	0,280**	Y = 0,028x +8,05

Objaśnienia: istotne przy $\alpha = 0,05$*, istotne przy $\alpha = 0,01$** – Explanations: significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

Warunki pogodowe różnicowały, poza plonem białka (cecha 22), wszystkie badane cechy, charakteryzujące jakość i skład chemiczny bulw. Najwyższą zawartość suchej masy (cecha 17), białka (cecha 21) i azotu w s.m. bulw (cecha 23) odnotowano w roku 2007, natomiast w tym samym roku wartość takich cech, jak: plon suchej masy (cecha 18), zawartość i plon skrobi (cechy 19 i 20) były istotnie niższe w porównaniu do stwierdzonych w pozostałych lat badań.

Tabela 20. Współzależności pomiędzy cechami jakości składu chemicznego plonu (n = 48) a wybranymi czynnikami meteorologicznymi
Table 20. Interaction between chemical characteristic of tuber (n = 48) and the meteorological factors

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient	Suma opadów atmosferycznych Total precipitation (mm)			Average air temperature Średnia temperatura powietrza (°C)		
			IV-IX	V-VI	VII-VIII	IV-IX	V-VI	VII-VIII
Zawartość suchej masy Content of dry matter (%)	17	r	0,164	–0,313*	0,266	–0,268	0,288*	–0,316*
		r^2	0,027	0,098	0,071	0,072	0,083	0,100
Plon suchej masy Yield of dry matter ($t \cdot ha^{-1}$)	18	r	0,145	0,271	–0,074	0,079	–0,445**	0,320*
		r^2	0,021	0,073	0,005	0,006	0,198	0,102
Zawartość skrobi Content of starch (%)	19	r	0,128	0,405**	–0,159	0,166	–0,605**	0,464**
		r^2	0,016	0,164	0,025	0,028	0,366	0,215
Plon skrobi Yield of starch ($t \cdot ha^{-1}$)	20	r	0,140	0,400**	–0,150	0,157	–0,606	0,460
		r^2	0,020	0,160	0,023	0,025	0,367	0,212
Zawartość białka ogólnego Content of total protein (%)	21	r	–0,251	–0,235	–0,003	–0,003	0,471**	–0,298*
		r^2	0,063	0,055	0,001	0,001	0,222	0,089
Plon białka ogólnego Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	22	r	0,052	0,182	–0,074	0,077	–0,268	0,207
		r^2	0,003	0,033	0,006	0,006	0,072	0,043
Zawartość azotu ($g \cdot kg^{-1}$ s.m.) Content of N ($g\ kg^{-1}$ d.m.)	23	r	–0,251	–0,235	–0,003	–0,003	0,471**	–0,298*
		r^2	0,063	0,055	0,001	0,001	0,222	0,089
Zawartość siarki ($g \cdot kg^{-1}$ s.m.) Content of S ($g\ kg^{-1}$ d.m.)	24	r	–0,616**	0,618**	–0,683**	0,683**	–0,371**	0,576**
		r^2	0,380	0,382	0,467	0,467	0,137	0,332
Stosunek N:S Ratio N:S	25	r	0,407**	–0,680**	0,605**	–0,608**	0,593**	0,679**
		r^2	0,165	0,463	0,366	0,370	0,352	0,461

Objaśnienia: r – współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, istotne przy $\alpha = 0{,}05$*, istotne przy $\alpha = 0{,}01$** – Explanations: r – correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

Warunki pogodowe w roku 2008 sprzyjały zawartości i plonowi suchej masy (cechy 17 i 18), zawartości i plonowi skrobi (cechy 19 i 20), rozszerzeniu stosunku N:S (cecha 25). Warunki pogodowe w roku 2009 były korzystne dla wzrostu plonu suchej masy (cecha 8), zawartości i plonu skrobi (cechy 19 i 20), zawartości białka i azotu (cechy 21 i 23) oraz siarki (cecha 24); (tab. 18). W pracy Sachajki (2010) w rozdziale obejmującym metodykę badań szczegółowo przedstawiono rozkład opadów atmosferycznych i średnią temperaturę powietrza. W niniejszym opracowaniu w rozdziale charakteryzującym obiekt badań podano wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, który wynosił odpowiednio w sezonach wegetacyjnych (IV-IX): 2007 – 1,3 (dość suchy), 2008 – 1,5 (dość wilgotny) i 2009 – 1,1 (suchy). Celem dokładniejszego oszacowania wyników w tabeli 20 przedstawiono współzależności (współczynniki korelacji i determinacji) pomiędzy omawianymi cechami, a sumą opadów atmosferycznych i średnimi temperatury powietrza, obliczonymi dla całego okresu wegetacji (IV-IX) oraz okresu V-VI i VII-VIII. Stwierdzono, że jedynie plon białka (cecha 22) nie korelował istotnie i nie był determinowany przebiegiem warunków atmosferycznych w całym sezonie wegetacyjnym oraz w poszczególnych jego okresach. W przypadku pozostałych cech potwierdzono statystycznie wpływ warunków pogodowych na jakość plonu bulw ziemniaka i ich skład chemiczny (tab. 20).

5.1.2. Ekonomiczna efektywność produkcji ziemniaka

Najwyższymi kosztami bezpośrednimi produkcji ziemniaka charakteryzowała się uprawa tradycyjna (A) połączona z nawożeniem podstawowym NPK (8529 zł·ha^{-1}). Zastosowanie uproszczeń w uprawie roli (B) i zastosowanie nawożenia NPK + S spowodowało obniżenie kosztów bezpośrednich o 163 zł·ha^{-1} (tab. 21). Wynikało to z rezygnacji z niektórych zabiegów uprawowych oraz zastąpienia droższej soli potasowej tańszym siarczanem potasu, który jednocześnie obok potasu w zalecanej dawce wnosił siarkę w dawce 50 kg·ha^{-1}.

Koszty uprawy roli w technologii produkcji ziemniaka stanowiły 2,0-4,1% (tab. 22). Na ich zróżnicowanie wpływało stosowanie klasycznej podorywki i orki przedzimowej w wariancie tradycyjnej uprawy roli (A) oraz zastosowanie Roundupu 360 SL w zamian podorywki i brak orki przedzimowej w wariancie z uproszczoną uprawą roli (B). Koszt nawozów mineralnych (NPK) wyniósł 1242 zł·ha^{-1} (tj. 14,6% w kosztach produkcji), a wniesienie siarki w ilości 50 kg S·ha^{-1}, w formie siarczanu zmniejszyło koszty odpowiednio do 1155 zł (13,7%), gdyż w analizowanym 2009 roku korzystniejsza była cena sprzedaży siarczanu potasu, niż soli potasowej. Wszystkie zabiegi agrotechniczne stanowiły przeciętnie 44,3% kosztów bezpośrednich. Wśród nich największy udział miał koszt zbioru i transportu (21,1%),

Tabela 21. Koszty i wskaźniki ekonomicznej sprawności produkcji ziemniaka (według cen z 2009 r. i na podstawie średniego plonu handlowego z lat 2007-2009)
Table 21. Costs and indicators of economic efficiency of the production of potato (according to prices of 2009 and on the basis of the average yield for years 2007-2009)

Wyszczególnienie – Specification		Uprawa tradycyjna Conventional soil tillage (A)		Uprawa uproszczona Simplified soil tillage (B)	
		NPK	NPKS	NPK	NPKS
Pracochłonność (rbh·ha^{-1}) Human labour input (h ha^{-1})		47,6	47,6	43,0	43,0
Wartość produkcji (zł·ha^{-1}) Value of production (PLN ha^{-1})	– skup – buying	5201	5599	4196	5035
(plon handlowy) (commercial yields)	– targowisko – market	17531	18871	14145	16971
Dopłaty bezpośrednie (zł·ha^{-1}) Direct payments (PLN ha^{-1})		507	507	507	507
Wartość produkcji z dopłatami(zł·ha^{-1}) Value of the production with direct payments (PLN ha^{-1})	– skup – buying	5708	6105	4703	5542
	–targowisko – market	18038	19378	14652	17478
Koszty bezpośrednie (zł·ha^{-1}): Direct costs (PLN ha^{-1}):		8529	8442	8453	8366
Zabiegi, w tym: Treatments, including:		3375	3375	3202	3202
Uprawa roli – Soil tillage		343	343	171	171
Nawożenie mineralne i naturalne Mineral and natural fertilization		663	663	662	662
Sadzenie – Planting		328	328	328	328
Pielęgnacja i ochrona – Care and protection		259	259	259	259
Zbiór i transport – Harvesting and transport		1782	1782	1782	1782
Praca ludzka – Human labour		476	476	430	430
Materiały i środki produkcji, w tym: Materials and raw materials, inluding:		4679	4592	4821	4734
Nawozy mineralne – Mineral fertilizers		1242	1155	1242	1155
Nawozy naturalne (obornik) – Natural fertilizers (manure)		244	244	244	244
Sadzeniaki – Seeds potato		2160	2160	2160	2160

Środki ochrony roślin, w tym: Plant protection products, including:		1033	1033	1175	1175
• zaprawy – seed dressing		190	190	190	190
• herbicydy – herbicydy		247	247	389	389
• fungicydy – fungicides		426	426	426	426
• insektycydy – insecticides		169	169	169	169
Nadwyżka bezpośrednia Direct surplus (bez dopłat) (zł·ha^{-1}) (without direct payments) (PLN ha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	-3328 9002	-2843 10430	-4257 5691	-3331 8605
Nadwyżka bezpośrednia Direct surplus (z dopłatami) (zł·ha^{-1}) (with direct payments) (PLN ha^{-1})	–skup – buying – targowisko – market	-2821 9509	-2336 10937	-3750 6198	-2824 9112
Udział dopłat w nadwyżce Share of direct payments bezpośredniej (%) in direct surplus (%)	–skup –buying –targowisko –market	19,0 5,3	21,7 4,6	13,5 8,2	17,9 5,6
Koszty bezp./1 zł nadwyżki b. (bez dopłat) Direct costs / 1 PLN of direct surplus (without direct payments)	– skup –buying –targowisko –market	-2,6 0,9	-3,0 0,8	-2,0 1,5	-2,5 1,0
Koszty bezpośrednie / 1 dt produktu Direct costs / 1 dt of product		33,6	30,9	41,3	34,1
Wskaźnik opłacalności bezpośredniej Indicator of direct profitability (bez dopłat) (without direct payments)	– skup – buying – targowisko – market	0,6 2,1	0,7 2,2	0,5 1,7	0,6 2,0
Nadwyżka bezpośrednia/1 rbh Direct surplus /1 hour of work (bez dopłat) (without direct payments)	– skup – buying – targowisko – market	–69,9 189,1	–59,7 219,1	–99,0 132,4	–77,5 200,1
Nadwyżka bezp./ 1 dt produktu Direct surplus / 1 dt of product (bez dopłat) (without direct payments)	–skup –buying – targowisko – market	–13,1 35,5	–10,4 38,2	–20,8 27,8	–13,6 35,0
Kalkulacja różnicowa nadwyżki bezpośr. Differential calculation of direct surplus w stosunku do A-NPK (zł·ha^{-1}) A-NPK (PLN ha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	0 0	485 1428	–929 –3310	–3 –397

a mniejszym udziałem cechowały się koszty związane z nawożeniem naturalnym i mineralnym (7,8%) oraz praca ludzka (5,4%). Materiały i środki do produkcji stanowiły średnio 55,7% kosztów bezpośrednich. Wśród nich największy udział miał koszt zakupu sadzeniaków (25,6%) (przy czym zrealizowano zakup ¼ partii w centrali nasiennej, a 75% stanowiły sadzeniaki własne), nawozy mineralne (14,2%), środki ochrony roślin (13,1%), w tym udział kosztu fungicydów wynosił 5,0% (tab. 21 i 22).

Biorąc pod uwagę efekty ekonomiczne należy podkreślić, że każdy ze sposobów uprawy roli pozwalał osiągać nadwyżkę bezpośrednią, ale tylko w przypadku sprzedaży ziemniaków na targowisku. Natomiast sprzedaż ziemniaków na skupie, po cenach z października 2009 r., bez względu na system uprawy roli i dopłaty bezpośrednie (JPO) Najwyższą wartość produkcji, jak również największą nadwyżkę bezpośrednią, stwierdzono w przypadku uprawy tradycyjnej (A) połączonej z nawożeniem NPK wzbogaconym w siarkę, a najniższą otrzymano w warunkach uprawy uproszczonej (B) połączonej z nawożeniem NPK.

Udział dopłat bezpośrednich (JPO) w nadwyżce bezpośredniej w przypadku sprzedaży ziemniaków na skupie wynosił 13,5-21,7%, a przy sprzedaży na targowisku od 4,6 do 8,2%.

Najkorzystniejsze wskaźniki sprawności ekonomicznej otrzymano w kombinacji uprawy tradycyjnej (A) połączonej z nawożeniem NPK + S. W tym przypadku największa była nadwyżka bezpośrednia przypadająca na 1 godzinę pracy ogółem, najniższy koszt produkcji 1 dt ziemniaków. W omawianej kombinacji najkorzystniejszy był również wynik kalkulacji różnicowej, w odniesieniu do wariantu kontrolnego, za jaki przyjęto uprawę tradycyjną (A) połączoną z nawożeniem NPK. Uprawa uproszczona (B) bez względu na nawożenie mineralne charakteryzowała się ujemnym wynikiem kalkulacji różnicowej, w odniesieniu do przyjętego wariantu kontrolnego.

Podsumowując można stwierdzić, że w badanych wariantach technologii produkcji ziemniaka największy wpływ na zróżnicowanie poziomu nadwyżki bezpośredniej miał plon i cena jego sprzedaży (w skupie lub na targowisku). Przy dość wyrównanym poziomie kosztów bezpośrednich to właśnie te dwa czynniki decydowały o wielkości dochodów z uprawy tej rośliny. W rachunku nie uwzględniono kosztów pośrednich, które obniżyłyby znacznie dochód z działalności we wszystkich badanych wariantach technologii produkcji ziemniaka. Ważnym czynnikiem kształtującym nadwyżkę bezpośrednią okazały się dopłaty bezpośrednie (JPO). Jednakże, w przypadku sprzedaży ziemniaka na skupie nie zapewniały one rekompensaty kosztów ponoszonych na produkcję ziemniaka, a prowadziło do straty finansowej (tab. 21).

Tabela 22. Struktura kosztów w produkcji 1 ha ziemniaka
Table 22. Structure of the cost of production of potato (area of 1 ha)

Wyszczególnienie Specification	Uprawa tradycyjna Conventional soil tillage (A)		Uprawa uproszczona Simplified soil tillage (B)		Średnio Mean
	NPK	NPKS	NPK	NPKS	
Koszty bezpośrednie: Direct costs:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Zabiegi, w tym: Treatments, including:	45,1	45,6	43,0	43,4	44,3
Uprawa roli – Soil tillage	4,0	4,1	2,0	2,0	3,0
Nawożenie min. i naturalne Natural and mineral fertilization	7,8	7,8	7,8	7,9	7,8
Sadzenie – Planting	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9
Pielęgnacja i ochrona Care and protection	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1
Zbiór i transport Harvest and transport	20,9	21,1	21,1	21,3	21,1
Praca ludzka – Human work	5,6	5,6	5,1	5,1	5,4
Środki produkcji, w tym: Raw materials, including:	54,9	54,4	57,0	56,5	55,8
Nawozy mineralne Mineral fertilization	14,6	13,7	14,7	13,8	14,2
Nawozy organiczne Natural fertilization	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Sadzeniaki – Seeds potato	25,3	25,6	25,5	25,8	25,6
Środki ochrony roślin, w tym: Plant protection products, including:	12,1	12,2	13,9	14,0	13,1
• zaprawy – seed dressing	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3
• herbicydy – herbicides	2,9	2,9	4,6	4,6	3,8
• fungicydy – fungicides	5,0	5,0	5,0	5,1	5,0
• insektycydy – insecticides	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

5.1.3. Energetyczna efektywność produkcji ziemniaka

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań, dotyczących energetycznej efektywności produkcji ziemniaka ziemniaka przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Generalnie, analiza wariancji w przypadku wartości energetycznej plonu (cecha 26) i wskaźnika efektywności energetycznej (będącego ilorazem wartości energetycznej plonu i nakładów energetycznych) (cecha 28) wykazała, że zróżnicowana uprawa roli (czynnik I) powodowała statystycznie istotne różnice. W przypadku nie udowodniono istotności różnic. W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano jego istotny wpływ w odniesieniu do wartości energetycznej plonu (cecha 26) (tab. 23).

Analiza wariancji nie wykazała istotnego współdziałania pomiędzy zróżnicowaną uprawą roli i nawożeniem mineralnym. Nakłady energetyczne wykazały mała zmienność pod wpływem głównych czynników doświadczenia. W przypadku czynnika 1 (uprawa roli) współczynnik zmienności *CV%* = 1,72, natomiast przy czynniku 2 (nawożenie mineralne) *CV%* = 0,79. Natomiast uprawa roli powodowała dość dużą zmienność wartości energetycznej plonu (cecha 26) i dużą wskaźnika efektywności energetycznej (cecha 28). Pozostałe czynniki i ich współdziałania powodowały zmienność cech (*CV%*) w zakresie od 6,76 do 35,25. Analiza wyników badań wykazała, że korzystniejszy wskaźnik efektywności energetycznej był w przypadku stosowania tradycyjnej uprawy roli (tab. 23). Uproszczona uprawa roli, pomimo niższego nakładu energii w procesie technologicznym powodowała obniżkę plonu bulw, co w konsekwencji wpływało na obniżenie wskaźnika efektywności energetycznej w stosunku do stwierdzonej w wariancie z tradycyjną uprawą roli. Nawożenie mineralne (czynnik 2) nie powodowało istotnego zróżnicowania wskaźnika efektywności energetycznej. Jednak można zauważyć korzystną tendencję na rzecz nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę. Wartość energetyczna plonu (cecha 26) bulw ziemniaka zależała od lat badań, co jest zrozumiałe, bowiem cecha ta jest pochodną plonu bulw ziemniaka i dlatego też zachowywała się zgodnie z jego rozkładem (tab. 23).

W strukturze nakładów energetycznych wydatkowanych na produkcję ziemniaka największy udział stanowiły surowce i materiały (tab. 24), a wśród nich energia zawarta w nawozach mineralnych i oborniku oraz w sadzeniakach (tab. 25).

Tabela 23. Wartości badanych cech energochłonności produkcji ziemniaka oraz ich analiza *post-hoc*
Table 23. Value traits of energy potato production and their *post-hoc* analysis

Uprawa Tillage methods	Nawożenie Fertilizer	Lata Years	Wartość energetyczna plonu Energy value of crop ($MJ \cdot ha^{-1}$)	Nakłady energetyczne Energy value of inputs ($MJ \cdot ha^{-1}$)	Wskaźnik efektywności energetycznej Energy effectiveness index
Nr cechy Feature No.			26	27	28
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	113135	44514	3,13
		2008	141754	44514	5,43
		2009	113968	44514	4,23
	Średnio – Mean		122952 *a*	44514	4,26 *a*
	50 S	2007	109533	45214	3,25
		2008	135476	45214	3,67
		2009	137389	45214	6,14
	Średnio – Mean		127466 *a*	45214	4,35 *a*
	Średnio – Mean A		125209 B	44864	4,31 B
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	87253	42994	2,03
		2008	108195	42994	2,52
		2009	128017	42994	2,98
	Średnio – Mean		107822 *a*	42994	2,51 *a*
	50 S	2007	103392	43694	2,37
		2008	120506	43694	2,76
		2009	112178	43694	2,57
	Średnio – Mean		112025 *a*	43694	2,56 *a*
	Średnio – Mean B		109923 A	43344	2,54 A
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S		115387 a	43754	3,39 a
	50 S		119746 a	44454	3,46 a
Średnio w latach Maen of years	2007		103328 *a*	44104	2,70 *a*
	2008		126483 *b*	44104	3,59 *a*
	2009		122888 *b*	44104	3,98 *a*
Średnio – Mean			117566	441048	3,42

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

Tabela 24. Nakłady energetyczne i ich struktura w produkcji ziemniaka
Table 24. Energy inputs and their structure in potato production

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carries		Surowce i materiały Raw materials and materials		Środki inwestycyjne Investments		Praca ludzka Human labour		Ogółem Total
		MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}
TRD CST*	0 S	11026	24,8	26107	58,6	3603	8,1	3778	8,5	44514
	50 S	11026	24,4	26807	59,3	3603	8,0	3778	8,4	45214
	średnio	11026	24,6	26457	59,0	3603	8,0	3778	8,4	44864
UPR SST	0 S	9937	23,1	26107	60,7	3539	8,2	3410	7,9	42994
	50 S	9937	22,7	26807	61,3	3539	8,1	3410	7,8	43694
	średnio	9937	22,9	26457	61,0	3539	8,2	3410	7,9	433434
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S	10481	24,0	26107	60,0	3571	8,2	3594	8,2	43754
	50 S	10481	23,6	26807	60,3	3571	8,0	3594	8,1	44454
Średnio – Mean		10481	23,8	26457	60,0	3571	8,1	3594	8,2	44104

*TRD-tradycyjna uprawa roli – CST-conventional soil tillage, UPR-uproszczona uprawa roli – SST-simplified soil tillage

Tabela 25. Struktura nakładów energetycznych w zabiegach wykonanych w uprawie ziemniaka
Table 25. Structure of energy inputs in the cultivation of potato

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Jednostka Unit	Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie obor. + min. Manure and mineral fertilization	Ochrona mech-chem Care and protection	Sadzenie Planting	Zbiór Harvest	Razem Total
TRD CST	0 S	MJ·ha^{-1}	2294	2533	1672	1096	7034	14629
		%	15,7	17,3	11,4	7,5	48,1	100
	50 S	MJ·ha^{-1}	2294	2533	1672	1096	7034	14629
		%	15,7	17,3	11,4	7,5	48,1	100
	Średnio Mean	MJ·ha^{-1}	2294	2533	1672	1096	7034	14629
		%	15,7	17,3	11,4	7,5	48,1	100
UPR SST	0 S	MJ·ha^{-1}	1142	2533	1672	1096	7034	13477
		%	8,5	17,3	11,4	7,5	48,1	100
	50 S	MJ·ha^{-1}	1142	2533	1672	1096	7034	13477
		%	8,5	17,3	11,4	7,5	48,1	100

	Średnio Mean	MJ·ha^{-1}	1142	2533	1672	1096	7034	13477
		%	8,5	17,3	11,4	7,5	48,1	100
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S	MJ·ha^{-1}	1718	2533	1672	1096	7034	14053
		%	12,2	17,3	11,4	7,5	48,1	100
	50 S	MJ·ha^{-1}	1718	2533	1672	1096	7034	14053
		%	12,2	17,3	11,4	7,5	48,1	100
Średnio – Mean		MJ·ha^{-1}	1718	2533	1672	1096	7034	14053
		%	12,2	17,3	11,4	7,5	48,1	100

*TRD –tradycyjna uprawa roli – CST– conventional soil tillage, UPR – uproszczona uprawa roli – SST– simplified soil tillage.
Objaśnienia: % – udział w odniesieniu do sumy nakładów w zabiegach – Explanations: percentage share in relation to the sum of treatments.

5.2. Agrotechnologia pszenżyta jarego

5.2.1 Cechy technologiczne, jakość i skład chemiczny ziarna

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań, dotyczących cech technologicznych pszenżyta jarego przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Generalnie analiza wariancji wykazała, że różnice w wielkości plonu ziarna pszenżyta jarego (cecha 1), masy tysiąca ziaren (cecha 3) i obsady kłosów (cecha 5) były statystycznie istotne w zależności od zastosowanej zróżnicowanej uprawy roli (czynnik I). Sposób uprawy nie zmieniał istotnie takich cech jak: liczba ziaren w kłosie (cecha 2) oraz plon z 1 kłosa (cecha 4) i długość kłosa (cecha 6).

Zróżnicowane nawożenie mineralne powodowało istotne różnice w przypadku plonu ziarna pszenżyta jarego (cecha 1), liczby ziaren w kłosie (cecha 2), masy tysiąca ziaren (cecha 3) oraz obsady kłosów (cecha 5). Natomiast nie było zróżnicowania plonu z 1 kłosa (cecha 4) i długości kłosa (cecha 6). Analiza wariancji omawianych cech pszenżyta jarego (plon ziarna i jego struktura) na ogół (z wyjątkiem cechy 6 – długość kłosa) wykazała istotne współdziałanie czynników doświadczenia. W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano na ogół jego istotny wpływ na kształtowanie cech, z wyjątkiem długości kłosa.

Plon ziarna pszenżyta jarego bardziej niż inne elementy jego struktury ulegał zmianom pod wpływem uprawy roli, nawożenia mineralnego oraz współdziałania tych czynników (*CV%* = 6,51-8,94). Jednak wyższą zmienność plonu ziarna powodował czynnik pogodowy (*CV%* = 9,37) i jego interakcja z czynnikami doświadczenia. Pozostałe cechy pszenżyta jarego okazały się bardziej stabilne. Ich zmienność, w zależności od uprawy roli i nawożenia mineralnego oraz ich współdziałania, była niewielka (*CV%* = 0,91-4,83). Natomiast w przypadku czynnika

pogodowego i jego interakcji z uprawą i nawożeniem zmienność była większa (*CV%* = 2,07-14,99).

Analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli (A) w stosunku do uproszczonej (B) na wielkość plonu ziarna pszenżyta jarego (cecha 1) oraz obsadę kłosów z jednostki powierzchni (cecha 5); (tab. 26). W przypadku pozostałych cech struktury plonu nie stwierdzono istotnego oddziaływania zróżnicowanej uprawy roli, chociaż zauważono korzystną tendencję po zastosowaniu tradycyjnej uprawy (A) na wzrost średniej liczby ziaren z kłosa (cecha 2) i średniej długości kłosa (cecha 6). Pozostałe elementy struktury plonu ziarna (masa tysiąca ziaren i plon z 1 kłosa) układały się korzystniej pod wpływem uprawy uproszczonej (B), chociaż nie potwierdzono tego statystycznie. Oznacza to, że tradycyjna uprawa roli wpływa pozytywnie na polepszenie krzewienia pszenżyta jarego, co w głównej mierze przekłada się na wzrost plonu ziarna, natomiast uprawa uproszczona przy mniejszej obsadzie kłosów wpływała na wytworzenie dorodniejszego ziarna (tab. 26).

Wyniki badań wskazują na korzystny wpływ nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę na plon ziarna pszenżyta jarego (cecha 1), wzrost liczby ziaren w kłosie (cecha 2) i poprawę obsady kłosów (cecha 5). Natomiast podstawowe nawożenie NPK podwyższało istotnie masę tysiąca ziaren (cecha 3). Plon ziarna z 1 kłosa i długość kłosa nie zależały od nawożenia mineralnego.

Nie stwierdzono współdziałania pomiędzy zróżnicowaną uprawą roli i nawożeniem mineralnym na kształtowanie większości cech pszenżyta: plon ziarna (cecha 1), liczba ziaren w kłosie (cecha 2), obsada kłosów (cecha 5) i długość kłosa (cecha 6).

Wzbogacenie nawożenia NPK w siarkę w przypadku obu sposobów uprawy roli wpływało na obniżenie masy tysiąca ziaren (cecha 3) i długości kłosa (cecha 6). Natomiast plon ziarna z 1 kłosa (cecha 4) najkorzystniej kształtował się w warunkach uproszczonej uprawy roli i nawożenia NPK z siarką, co świadczy w współdziałaniu czynników doświadczenia (tab. 26).

Z plonem ziarna pszenżyta jarego korelowały istotnie dodatnio liczba ziaren w kłosie, masa tysiąca ziaren i średni plon ziarna z 1 kłosa. Ponieważ współczynniki korelacji w przypadku liczby ziaren w kłosie oraz masy tysiąca ziaren były bardzo zbliżone, dlatego można przyjąć, że cechy te w podobnym stopniu są istotnym predyktorem dla oszacowania plonu ziarna pszenżyta jarego (tab. 27).

Warunki meteorologiczne: opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji pszenżyta jarego w latach 2008 i 2009 wpłynęły istotnie korzystnie na liczbę ziaren w kłosie, masę tysiąca ziaren i plon ziarna z 1 kłosa, a ujemnie na obsadę kłosów (tab. 27 i 28). W przypadku plonu ziarna i średniej długości kłosa nie stwierdzono istotnego oddziaływania warunków pogodowych, chociaż najwyższe plony otrzymano w 2009 roku. Natomiast najwyższą obsadę kłosów odnotowano w roku 2007.

Tabela 26. Wartości badanych cech technologicznych pszenżyta jarego i ich analiza *post-hoc*
Table 26. Values of technological features of spring Triticale and their *post-hoc* analysis

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Lata Years	Plon ziarna Grain yield ($t \cdot ha^{-1}$)	Liczba ziaren w kłosie (szt.) Number of grains per head (piece)	Masa tysiąca ziaren Mass of 1000 grains (g)	Plon ziarna z kłosa Grains mass in head (g)	Liczba kłosów ($szt. \cdot m^{-2}$) Number of heads (piece m^{-2})	Długość kłosa Length of head (cm)
Cecha – Test characteristic			1	2	3	4	5	6
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	5,12	41,0	31,3	1,28	790	7,7
		2008	5,48	38,5	38,9	1,50	700	7,0
		2009	6,21	42,3	44,6	1,88	595	9,0
	Średnio – Mean		5,60 *a*	40,6 *a*	38,2 b	1,55 *a*	695 *a*	7,9 *a*
	40 S	2007	5,80	43,2	30,1	1,30	835	8,5
		2008	5,75	42,1	33,7	1,42	760	8,0
		2009	6,29	44,0	42,0	1,85	612	7,0
	Średnio – Mean		5,94 *a*	43,1 *a*	35,2 *a*	1,52 *a*	734 *a*	7,8 *a*
	Średnio A		5,77 B	41,8 A	36,7 A	1,54 A	715 B	7,8 A
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	4,52	36,0	34,7	1,24	765	8,2
		2008	3,79	41,3	38,0	1,57	560	7,1
		2009	5,58	42,1	41,3	1,74	610	8,4
	Średnio – Mean		4,63 *a*	39,8 *a*	38,0 b	1,52 *a*	645 *a*	7,9 *a*
	40 S	2007	4,89	37,8	31,6	1,19	830	7,0
		2008	5,16	46,2	39,3	1,81	560	8,2
		2009	6,47	42,6	42,9	1,82	629	7,2
	Średnio – Mean		5,51 *a*	42,2 *a*	37,9 b	1,61 b	673 *a*	7,5 *a*
	Średnio – Mean B		5,07 A	41,0 A	37,9 B	1,56 A	659 A	7,7 A
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S		5,12 a	40,2 a	38,1 b	1,54 a	670 a	7,9 a
	40 S		5,73 b	42,6 b	36,6 a	1,57 a	704 b	7,6 a
Średnio w latach Mean of years	2007		5,08 *a*	39,5 *a*	31,9 *a*	1,25 *a*	805 *b*	7,9 *a*
	2008		5,04 *a*	42,0 *b*	37,5 *b*	1,57 *b*	645 *a*	7,6 *a*
	2009		6,14 *a*	42,7 *b*	42,7 *c*	1,82 *c*	612 *a*	7,9 *a*
Średnio – Mean			5,42	41,4	37,3	1,55	687	7,8

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

Tabela 27. Współzależności pomiędzy plonem ziarna pszenżyta jarego i elementami jego struktury
Table 27. Interelations between grain yield of spring Triticale and elements of its structure

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient		Równanie regresji Regression equation Y = ax + b
		Korelacji Correlation (r)	Determinacji Determination (r^2)	
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Number of grains per head (piece)	2	0,388**	0,150**	Y = 0,128x + 0,09
Masa tysiąca ziaren Mass of 1000 grains (g)	3	0,362*	0,131*	Y = 0,073x + 2,68
Plon ziarna 1 kłosa Grains mass in head (g)	4	0,456**	0,207**	Y = 1,748x + 2,71

Objaśnienia: istotne przy α = 0,05*, istotne przy α = 0,01** – Explanations: significant at α = 0.05*, significant at α = 0.01**.

W pracy Sachajki (2010) w rozdziale obejmującym metodykę badań szczegółowo przedstawiono rozkład opadów atmosferycznych i średnią temperaturę powietrza. W niniejszym opracowaniu w rozdziale charakteryzującym obiekt badań podano wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, który wynosił odpowiednio w sezonach wegetacyjnych (IV-VIII): 2007 – 1,0 (suchy), 2008 – 1,4 (dość wilgotny) i 2009 – 1,2 (dość suchy). Celem dokładniejszej analizy wyników w tabeli 28 przedstawiono współzależności (współczynniki korelacji i determinacji) pomiędzy omawianymi cechami, a sumą opadów atmosferycznych i średnimi temperatury powietrza, obliczonymi dla całego okresu wegetacji pszenżyta (IV-VIII) oraz okresów IV-V i VI-VII. Na podstawie tych obliczeń stwierdzono, że plon ziarna (cecha 1) korelował istotnie ujemnie z sumą opadów okresu VI-VII i średnią temperaturą powietrza okresu IV-V. Natomiast w przypadku pozostałych cech, z wyjątkiem długości kłosa, stwierdzono wystąpienie istotnej korelacji. Przy czym cechami najsilniej determinowanymi czynnikiem pogodowym były w kolejności: obsada kłosów, plon z 1 kłosa, masa tysiąca ziaren i liczba ziaren z 1 kłosa. Liczba ziaren z 1 kłosa, masa tysiąca ziaren i plon z 1 kłosa wykazywały podobne zależności względem warunków pogodowych; dodatnia korelacja wystąpiła pomiędzy tymi cechami a opadami w okresie całej wegetacji (IV-VIII) i w okresie IV-V. Natomiast w przypadku opadów okresu VI-VIII i rozkładem temperatury we wszystkich okresach w odniesieniu do wymienionych cech odnotowano korelację ujemną. Całkowicie odmiennie kształtowały się związki pomiędzy warunkami pogodowymi a obsadą kłosów. Plon ziarna determinowany był przez warunki pogodowe od 1 do 15%, natomiast cechy struktury plonu (z wyjątkiem długości kłosa) podlegały silnemu oddziaływaniu pogody, nawet do 78% (tab. 28).

Tabela 28. Współzależności pomiędzy cechami plonu pszenżyta jarego (n = 48) a wybranymi czynnikami meteorologicznymi
Table 28. Relationship between characteristics of spring Triticale yield (n = 48) and the meteorological factors

Badana cecha Test characteristic	Numer cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient	Suma opadów atmosferycznych Total precipitation (mm)			Średnia temperatura powietrza Average air temperature (°C)		
			IV-VIII	IV-V	VI-VII	IV-VIII	IV-V	VI-VII
Plon ziarna Grain yield($t \cdot ha^{-1}$)	1	r	–0,032	0,078	–0,320*	–0,240	–0,392**	–0,026
		r^2	0,001	0,006	0,103*	0,057	0,154**	0,001
Liczba ziaren w kłosie ($szt \cdot m^{-2}$) Number of grains per head (piece)	2	r	0,326*	0,388**	–0,458**	–0,447**	–0,452**	–0,361*
		r^2	0,106*	0,150**	0,210**	0,200	0,204**	0,130**
Masa tysiąca ziaren Mass of 1000 grains (g)	3	r	0,437**	0,594**	–0,849**	–0,781**	–0,886**	–0,523**
		r^2	0,191**	0,353**	0,721**	0,611**	0,785**	0,273**
Plon 1 kłosa Grain mass in head (g)	4	r	0,474**	0,625**	–0,861**	–0,801**	–0,889**	–0,557**
		r^2	0,225**	0,391**	0,741**	0,641**	0,791**	0,310**
Obsada kłosów($szt \cdot m^{-2}$) Number of heads (piece)	5	r	–0,579**	–0,674**	0,768**	0,759**	0,749**	0,633**
		r^2	0,335**	0,455**	0,591**	0,576**	0,561**	0,401**
Długość kłosa Length of head (cm)	6	r	–0,165	–0,136	0,042	0,079	0,002	0,151
		r^2	0,027	0,018	0,002	0,006	0,000	0,023

Objaśnienia: r – współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, istotne przy $\alpha = 0,05$*, istotne przy $\alpha = 0,01$** – Explanation: r – correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

Na podstawie przedstawionej analizy warunków pogodowych można zauważyć, że opady IV-V wpływły korzystnie na wypełnienie kłosa (większa liczba ziaren i wyższa masa tysiąca ziaren), a w konsekwencji na wyższy plon ziarna z 1 kłosa. Natomiast opady VI-VII wpływały niekorzystnie na te cechy, a także na obniżkę plonu ziarna z jednostki powierzchni. Ponadto, większość badanych cech (oprócz obsady kłosów i średniej długości kłosa) była w ujemnym związku ze średnią temperaturą powietrza wszystkich analizowanych okresów (tab. 28).

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań, dotyczących jakości i składu chemicznego pszenżyta jarego przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko

2010). Generalnie analiza wariancji wykazała, że zróżnicowana uprawa roli (czynnik I) za wyjątkiem plonu białka (cecha 8) nie powodowała statystycznie istotnych różnic w zawartości białka (cecha 7), azotu (cecha 9) i siarki (cecha 10) w suchej masie oraz w stosunku zawartości N : S (cecha 11). Plon białka ogólnego był ściśle skorelowany z plonem ziarna pszenżyta jarego (cecha 1) i w głównej mierze od niego zależał (r = 0,922**). Plonu białka ogólnego był istotnie zróżnicowany przez uprawę roli. W przypadku drugiego czynnika, jakim było nawożenie mineralne, stwierdzono jego wpływ na większość badanych cech, charakteryzujących jakość i skład chemiczny ziarna, za wyjątkiem stosunku zawartości N:S (cecha 11).

Analiza wariancji w odniesieniu do każdej cechy nie wykazała istotnego współdziałania czynników zastosowanych w doświadczeniu (U x N). W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano na ogół istotny wpływ zmienności sezonowej (lat) w odniesieniu do badanych cech, z wyjątkiem plonu białka ogólnego.

Badane cechy przenżyta jarego, kształtowane uprawą roli i nawożeniem mineralnym okazały się bardzo stabilne (*CV%* = 0,08-1,72). Jedynie plon białka (cecha 8) charakteryzował się nieco wyższym współczynnikiem zmienności (*CV%* = 5,93-7,10). Na ogół nawożenie mineralne powodowało nieco większą zmienność wyników, niż uprawa roli. Wartości cech przenżyta jarego podlegały silniejszej zmienności w poszczególnych latach badań pod wpływem czynnika pogodowego (*CV%* = 2,07-13,02) i współdziałania tych warunków z uprawą roli i nawożeniem mineralnym (*CV%* = 7,02-17,32), niż bezpośrednim działaniem głównych czynników agrotechnicznych (Sachajko 2010).

Analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli (A) w stosunku do uproszczonej (B) jedynie na wzrost plonu białka. Natomiast w przypadku innych badanych cech, charakteryzujących jakość i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego takiej zależności nie stwierdzono (tab. 29).

W przypadku zróżnicowanego nawożenia mineralnego (czynnik 2) analiza wyników badań wykazała istotnie korzystny wpływ nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę na zawartość i plon białka (cechy 7 i 8) oraz zawartość azotu (cecha 9) i siarki (cecha 10) w ziarnie pszenżyta. W odniesieniu do stosunku N:S (cecha 11) nawożenie mineralne nie powodowało istotnych różnic, chociaż zauważono, że dodatek siarki do nawożenia NPK powoduje niekorzystną tendencję zawężenia stosunku N:S. W przypadku badanych cech nie odnotowano istotnego współdziałania zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia mineralnego. Jakość ziarna pszenżyta jarego kształtowała się najkorzystniej w roku 2007, cechującym się suchym sezonem wegetacyjnym (tab. 29).

Z plonem ziarna (cecha 1) korelował istotnie dodatnio plon białka (cecha 8) i stosunek zawartości N:S (cecha 11), natomiast w przypadku innych cech jakościowych takiej zależności nie stwierdzono (tab. 30).

Tabela 29. Wartości badanych cech jakościowych i składu chemicznego ziarna pszenżyta jarego i ich analiza *post-hoc*

Table 29. Values of tested quality characteristics and chemical composition of spring Triticale grains and their *post-hoc* analysis

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Lata Years	Zawartość białka Content of total protein (%)	Plon białka ogólnego Yield of total protein (kg·ha^{-1})	Zawartość N (g·kg^{-1} s.m.) Content N (g kg^{-1} s.m.)	Zawartość S (g·kg^{-1} s.m.) Content S (g kg^{-1} s.m.)	Stosunek N:S Ratio N:S
Cecha – Test Characteristic			7	8	9	10	11
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	13,7	700,9	24,01	1,76	13,68
		2008	10,7	590,9	18,86	1,43	13,21
		2009	12,2	760,3	21,48	1,40	15,40
	Średnio		12,2 *a*	684,0 *a*	21,45 *a*	1,53 *a*	14,10 *a*
	40 S	2007	13,4	777,2	23,52	1,65	14,29
		2008	11,7	665,8	20,32	1,65	12,33
		2009	12,7	800,7	22,34	1,49	15,04
	Średnio – Mean		12,6 *a*	747,9 *a*	22,06 *a*	1,59 *a*	13,89 *a*
	Średnio – Mean A		12,4 A	716,0 B	21,75 A	1,56 A	13,99 A
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	13,8	621,0	24,14	1,79	13,49
		2008	10,7	405,2	18,78	1,44	13,09
		2009	12,3	689,0	21,67	1,40	15,53
	Średnio – Mean		12,3 *a*	571,7 *a*	21,53 *a*	1,54 *a*	14,04 *a*
	40 S	2007	12,8	626,6	22,54	1,66	13,63
		2008	11,6	599,7	20,38	1,50	13,59
		2009	13,5	873,2	23,65	1,57	15,13
	Średnio – Mean		12,6 *a*	699,9 *a*	22,19 *a*	1,57 *a*	14,12 *a*
	Średnio – Mean B		12,5 A	635,8 A	21,86 A	1,56 A	14,08 A
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S		12,2 a	627,9 a	21,49 a	1,53 a	14,07 a
	40 S		12,6 b	723,9 b	22,12 b	1,58 b	14,00 a
Średnio w latach Mean of years	2007		13,4 *c*	681,4 *b*	23,55 *c*	1,71 *c*	13,77 *a*
	2008		11,2 *a*	565,4 *a*	19,58 *a*	1,50 *b*	13,05 *a*
	2009		12,7 *b*	780,8 *c*	22,28 *b*	1,46 *a*	15,28 *b*
Średnio – Mean			12,4	675,9	21,80	1,56	14,03

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

Tabela 30. Współzależności pomiędzy plonem ziarna przenżyta jarego a cechami jakości i składu chemicznego jego plonu
Table 30. Interaction between grain yield and its quality and chemical composition of spring Triticale

Badana cecha Test characteristic	Nr cechy Feature No.	Współczynnik Coefficient		Równanie regresji Regression equation Y = ax + b
		Korelacji Correlation (r)	Determinacji Determination (r^2)	
Plon białka ogólnego Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	8	0,922**	0,850**	Y = 0,006x + 1,07
Stosunek N:S Ratio N:S	11	0,432**	0,186**	Y = 0,402x – 0,22

Objaśnienia: istotne przy $\alpha = 0,05$*, istotne przy $\alpha = 0,01$** Explanations: significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

Warunki pogodowe różnicowały wszystkie badane cechy, charakteryzujące jakość i skład chemiczny ziarna. Na ogół istotnie najniższe wartości przybierały badane cechy (z wyjątkiem zawartości siarki) w roku 2008 (tab. 31). Natomiast pogoda w pozostałych sezonach wegetacyjnych wpływała korzystniej na kształtowanie jakościowych cech pszenżyta jarego. Można stwierdzić, że przekropna pogoda w 2008 roku wpływała na obniżenie jakości ziarna i pogorszenie jego składu chemicznego. Natomiast pogoda bardziej sucha i słoneczna w latach 2007 i 2009 była bardziej sprzyjająca dla uzyskania jakościowo lepszego ziarna.

W celu dokładniejszej analizy wyników w tabeli 31 przedstawiono współzależności pomiędzy omawianymi cechami, a sumą opadów atmosferycznych i średnimi temperatury powietrza, obliczonymi dla całego okresu wegetacji (IV-VIII), oraz okresu IV-V i VI-VII. Wszystkie badane cechy korelowały istotnie i były determinowane czynnikami meteorologicznymi w całym sezonie wegetacyjnym oraz w poszczególnych jego okresach. Szczególnie niekorzystny wpływ opadów na analizowane cechy jakościowe ziarna obserwowano w okresie IV-V, co potwierdza ujemna korelacja pomiędzy zmiennymi. Natomiast temperatura powietrza korelowała dodatnio z badanymi cechami, co oznacza, że wpływała korzystnie na ich kształtowanie.

Tabela 31. Współzależności pomiędzy cechami jakości składu chemicznego plonu pszenżyta jarego (n = 48), a wybranymi czynnikami meteorologicznymi
Table 31. Interaction between quality characteristics and chemical composition of spring Triticale (n = 48) and the meteorological factors

Badana cecha Test characteristic	Numer cechy Featu-re No.	Współ-czynnik Coefficient	Suma opadów atmosferycznych Total precipitation (mm)			Średnia temperatura powietrza Average air temperature (°C)		
			IV-VIII	IV-V	VI-VII	IV-VIII	IV-V	VI-VII
Zawartość białka ogólnego Content of total protein (%)	21	r	–0,854**	–0,802**	0,525**	0,647**	0,378**	0,831**
		r^2	0,729**	0,643**	0,275**	0,418**	0,143**	0,691**
Plon białka ogólnego Yield of total protein ($t \cdot ha^{-1}$)	22	r	–0,347*	–0,230	–0,090	0,027	–0,209	0,287*
		r^2	0,120*	0,053	0,008	0,001	0,044	0,082
Zawartość azotu ($g \cdot kg^{-1}$ s.m.) Content N (g kg^{-1} s.m.)	23	r	–0,854**	–0,802**	0,525**	0,647**	0,378**	0,831**
		r^2	0,729**	0,643**	0,275**	0,418**	0,143**	0,691**
Zawartość siarki ($g \cdot kg^{-1}$ s.m.) Content S (g kg^{-1} s.m.)	24	r	–0,611**	–0,710**	0,808**	0,798**	0,786**	0,667**
		r^2	0,373**	0,504**	0,652**	0,637**	0,618**	0,445**
Stosunek N:S Ratio N:S	25	r	–0,299*	–0,118	–0,330*	–0,172	–0,481**	0,206
		r^2	0,090*	0,014	0,109*	0,029	0,231**	0,042

Objaśnienia: r – współczynnik korelacji, r^2 – współczynnik determinacji, istotne przy $\alpha = 0{,}05$*, istotne przy $\alpha = 0{,}01$** – Explanation: r – correlation coefficient, r^2 – determination coefficient, significant at $\alpha = 0.05$*, significant at $\alpha = 0.01$**.

5.2.2. Ekonomiczna efektywność produkcji pszenżyta jarego

Najwyższymi kosztami bezpośrednimi produkcji pszenżyta jarego charakteryzowała się tradycyjna uprawa roli (A) połączona z nawożeniem NPK wzbogaconym w siarkę (3065 $zł \cdot ha^{-1}$). Wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli (B) i stosowanie nawożenia NPK spowodowało obniżenie kosztów bezpośrednich o 114 zł $zł \cdot ha^{-1}$ (tab. 32). Wynikało to z rezygnacji z niektórych zabiegów uprawowych oraz z zastąpienia siarczanu amonu saletrą amonową, która jest co prawda droższym nawozem, lecz zawiera wyższą koncentrację azotu i w związku z tym stosuje się niższą jego dawkę.

Tabela 32. Koszty i wskaźniki ekonomicznej sprawności produkcji pszenżyta jarego (według cen z 2009 r. i na podstawie średniego plonu ziarna z lat 2007-2009)
Table 32. Costs and indicators of economic efficiency of the production of spring Triticale (according to prices of 2009 and on the basis of average grain yield of years 2007-2009)

Wyszczególnienie – Specification		Uprawa tradycyjna Conventional soil tillage (A)		Uprawa uproszczona Simplified soil tillage (B)	
		NPK	NPKS	NPK	NPKS
Pracochłonność (rbh·ha^{-1}) – Human work (h ha^{-1})		11,1	11,1	8,7	8,7
Plon – Grain yield (t·ha^{-1})		5,60	5,94	4,63	5,51
Wartość produkcji (zł·ha^{-1}) Value of production (PLN ha^{-1}) (plon handlowy) (commercial yields)	– skup – buying – targowisko – market	2184 2800	2317 2970	1806 2315	2149 2755
Dopłaty bezpośrednie (zł·ha^{-1}) – Direct payments (PLN ha^{-1})		863	863	863	863
Wartość produkcji z dopłatami (zł·ha^{-1}) Value of production with Value of production with direct payments (PLNha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	3047 3663	3180 3833	2669 3178	3012 3618
Koszty bezpośrednie (zł·ha^{-1}): Direct costs (PLN ha^{-1}):		3040	3065	2939	2963
Zabiegi, w tym: – Treatments, including:		985	985	907	907
Uprawa roli – Soil tillage		204	204	126	126
Nawożenie mineralne – Mineral and natural fertilization		48	48	48	48
Siew – Sowing		95	95	95	95
Pielęgnacja i ochrona – Care and protection		67	67	67	67
Zbiór i transport – Harvesting and transport		571	571	571	571
Praca ludzka – Human work		111	111	87	87
Materiały i środki produkcji, w tym: Materials and raw materials, inluding:		1943	1968	1944	1968
Nawozy mineralne – Mineral fertilizers		1091	1116	1091	1116
Ziarno siewne – Grain sowing		420	420	420	420
Środki ochrony roślin, w tym: Plant protection products, including:		432	432	432	432
• zaprawy – seed dressing		42	42	42	42
• herbicydy – herbicides		202	202	202	202
• fungicydy – fungicicides		168	168	168	168
• regulatory wzrostu – growth regulators		20	20	20	20

Nadwyżka bezpośrednia Direct surplus (bez dopłat) (zł·ha^{-1}) (without direct payments) (PLN ha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	–856 –240	–748 –95	–1133 –624	–814 –208
Nadwyżka bezpośrednia Direct surplus (z dopłatami) (zł·ha^{-1}) (with direct payments) (PLN ha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	7 623	115 768	–269 240	49 655
Udział dopłat w nadwyżce Share of direct payments bezpośredniej (%) in direct surplus (%)	– skup – buying – targowisko – market	101 359	115 908	76 138	106 414
Koszty bezpośrednie / 1 dt produktu Direct costs / 1 dt of product		543	516	635	538
Wskaźnik opłacalności Indicator of direct profitability bezpośredniej (bez dopłat) (without direct payments)	– skup –buying – targowisko – market	0,7 0,9	0,8 1,0	0,6 0,8	0,7 0,9
Kalkulacja różnicowa nadwyżki Differential calculation of direct bezpośredniej do A-NPK surplus with direct payments A-NPK (z dopłatami) (zł·ha^{-1}) PLN ha^{-1})	– skup – buying – targowisko – market	0 0	108 145	-277 -383	42 32

Koszty uprawy roli w technologii produkcji pszenżyta jarego stanowiły 4,3-6,7% (tab. 33). Na ich zróżnicowanie wpływało stosowanie kultywatorowania jesienią (wariant uprawy B) w zamian klasycznej orki przedzimowej w wariancie tradycyjnej uprawy roli (A).

Koszt nawozów mineralnych wynosił 1091 zł·ha^{-1}, co średnio stanowiło 36,8% kosztów bezpośrednich, a wniesienie dodatkowo siarki w ilości 40 kg S·ha^{-1} w formie siarczanu amonu zwiększyło nakłady do 1116 zł·ha^{-1}. Wszystkie zabiegi uprawy roli stanowiły przeciętnie 31,5% bezpośrednich kosztów produkcji, a wśród nich najwyższy koszt pochłonęły zbiór i transport (19,0%), zaś mniejszy był udział kosztów uprawy roli (5,5%), siewu nasion (3,3%) i pracy ludzkiej (3,3%). Materiały i środki do produkcji stanowiły 65,2% kosztów bezpośrednich. Wśród nich największy udział miał koszt zakupu nawozów mineralnych (36,8%), środków ochrony roślin (14,4%) (tab. 33).

Tabela 33. Struktura kosztów produkcji pszenżyta jarego (%)
Table 33. Structure of the cost of production of spring Triticale (%)

Wyszczególnienie – Specification	Uprawa tradycyjna Conventional soil tillage (A)		Uprawa uproszczona Simplified soil tillage (B)		Średnio Mean
	NPK	NPKS	NPK	NPKS	
Koszty bezpośrednie: Direct costs:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Zabiegi, w tym: Treatments, including:	32,4	32,2	30,90	30,6	31,5
Uprawa roli – Soil tillage	6,7	6,6	4,3	4,3	5,5
Nawożenie mineralne Mineral fertilization	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Siew – Sowing	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
Pielęgnacja i ochrona Care and protection	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
Zbiór i transport Harvest and transport	18,8	18,6	19,4	19,3	19,0
Praca ludzka – Human work	3,6	3,6	3,00	2,9	3,3
Środki produkcji, w tym: Raw materials, including:	63,9	64,2	66,1	66,4	65,2
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	35,9	36,4	37,1	37,6	36,8
Ziarno siewne – Grain sowing	13,8	13,7	14,3	14,2	14,0
Środki ochrony roślin, w tym: Plant protection products, including:	14,2	14,1	14,7	14,6	14,4
• zaprawy – seed dressing	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
• herbicydy – herbicides	6,6	6,6	6,9	6,8	6,7
• fungicydy – fungicicides	5,5	5,5	5,7	5,7	5,6
• regulatory wzrostu – growth regulators	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7

Należy zauważyć, że w 2009 r. każdy z zastosowanych wariantów technologii produkcji pszenżyta jarego w wersji bez dopłat charakteryzował się stratą, niezależnie od miejsca zbytu ziarna (skupie bądź na targowisku).

Najwyższą wartość produkcji i najkorzystniejszą nadwyżkę bezpośrednią (z uwzględnieniem dopłat) stwierdzono w przypadku uprawy tradycyjnej (A) połączonej z nawożeniem NPK wzbogaconym w siarkę, a najniższą w warunkach uprawy uproszczonej (B) połączonej z nawożeniem NPK (tab. 32). W przypadku najkorzystniejszego wariantu, to jest uprawy tradycyjnej (A) połączonej z nawożeniem NPKS, sprzedaż ziarna po cenach targowiskowych przyniosła stratę (–95 zł·ha^{-1}). Jeżeli w tym wariancie technologii produkcji uwzględni się dopłaty bezpośrednie, to dawał on dodatni wynik 768 zł·ha^{-1}.

Ze względu na to, że nadwyżka bezpośrednia zależała zasadniczo od dopłat bezpośrednich odstąpiono od obliczenia wskaźników ekonomicznych, odnoszących się do jednostki pracy i produktu. Wyliczono jedynie wskaźnik opłacalności bezpośredniej, którego wartość waha się od 0,6 do 1,0 (tab. 32). W celu ustalenia najkorzystniejszej kombinacji sporządzono kalkulację różnicową, gdzie za wariant kontrolny przyjęto uprawę tradycyjną (A) połączoną z nawożeniem NPK. Najkorzystniejszy wynik finansowy dała uprawa tradycyjna (A) połączona z nawożeniem NPKS. Pozostałe kombinacje były niekorzystne, w przypadku uprawy uproszczonej (B) i nawożenia NPK występowała strata, zaś poprawiały wynik uprawa uproszczona (B) i nawożenie NPKS.

Podsumowując, można stwierdzić, że w badanych wariantach technologii produkcji pszenżyta jarego największy wpływ na zróżnicowanie poziomu nadwyżki bezpośredniej miała wielkość plonu oraz cena sprzedaży ziarna w zależności od miejsca zbytu (skup lub targowisko). Najważniejszym jednak czynnikiem, który decydował o dodatniej nadwyżce bezpośredniej był udział dopłat bezpośrednich (JPO). Przy dość wyrównanym poziomie kosztów bezpośrednich to właśnie ten czynnik decydował o dochodowości uprawy tej rośliny. Jednakże, w przypadku sprzedaży ziarna na skupie dopłaty bezpośrednie nie rekompensują kosztów produkcji pszenżyta i następuje strata finansowa.

5.2.3. Energetyczna efektywność produkcji pszenżyta jarego

Szczegółową analizę statystyczną wyników badań, dotyczących energetycznej efektywności produkcji pszenżyta jarego przedstawiono we wcześniejszej pracy (Sachajko 2010). Generalnie analiza wariancji w przypadku wartości energetycznej plonu (cecha 12) i wskaźnika efektywności energetycznej (będącego ilorazem wartości energetycznej plonu i nakładów energetycznych) (cecha 14) wykazała,

że zróżnicowana uprawa roli (czynnik I) oraz nawożenie mineralne (czynnik 2) powodowały statystycznie istotne różnice.

W przypadku wymienionych cech stwierdzono istotne prawdopodobieństwo rozkładu funkcji testowej F przy $\alpha = 0,05$ oraz udowodniono istotne różnice testem Tukeya. W przypadku czynnika pogodowego zaobserwowano również jego istotny wpływ w odniesieniu do omawianych cech. Analiza wariancji nie wykazała istotnego współdziałania pomiędzy zróżnicowaną uprawą roli i zmienionym nawożeniem mineralnym.

W zależności od zastosowanych czynników bardzo stabilne okazały się nakłady energetyczne (cecha 13). W przypadku czynnika 1 (uprawa roli) współczynnik zmienności (*CV%*) wynosił 2,30, a przy czynniku 2 (nawożenie mineralne) *CV%* = 1,61. Większą zmiennością charakteryzowała się wartość energetyczna plonu (cecha 12) i wskaźnik efektywności energetycznej (cecha 14), przy czym oba czynniki doświadczenia wykazały podobne oddziaływanie. Pozostałe czynniki i ich współdziałania zmieniały wartość cech *CV* od 6,46 do 13,76%.

Analiza wyników badań wykazała, że korzystniejszy wskaźnik efektywności energetycznej (cecha 14) był w przypadku stosowania tradycyjnej uprawy roli (tab. 34). Uproszczona uprawa roli, pomimo że charakteryzowała się niższymi nakładami energii w procesie technologicznym, powodowała iż uzyskiwano niższy plon ziarna. W konsekwencji tej zależności wskaźnik efektywności energetycznej był istotnie niższy w stosunku do stwierdzonego w warunkach tradycyjnej uprawy roli. Zastosowanie nawożenia mineralnego NPK wzbogaconego w siarkę wpływało również istotnie korzystnie na wskaźnik efektywności energetycznej. W tym przypadku również nakłady energetyczne były wyższe niż w wariancie z nawożeniem kontrolnym NPK, lecz wyższa wartość energetyczna plonu rekompensowała wynik na rzecz nawożenia NPK + S. Wartość energetyczna plonu ziarna pszenżyta jarego zależała od zmienności sezonowej (lat badań), co jest zrozumiałe, bowiem cecha ta jest ściśle związana z plonem ziarna i zachowywała się zgodnie z jego rozkładem (tab. 34).

W strukturze nakładów energetycznych wydatkowanych na produkcję pszenżyta jarego odnotowano bardzo duży udział surowców i materiałów (powyżej 70%). Był on względnie wyższy w przypadku tradycyjnej uprawy roli (tab. 35). Natomiast wprowadzenie uproszczeń wpływało na obniżenie nakładów bezpośrednich nośników energii, zwłaszcza paliwa oraz pracy ludzkiej. W nakładach energetycznych w zabiegach wykonywanych w uprawie pszenżyta jarego największy udział stanowiła uprawa roli i zbiór (tab. 36).

Tabela 34. Wartości badanych cech energochłonności produkcji pszenżyta jarego
Table 34. Value traits of energy inputs in spring-Triticale production

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Lata Years	Wartość energetyczna plonu Energy value of crop (MJ·ha^{-1})	Nakłady energetyczne Energy value of inputs (MJ·ha^{-1})	Wskaźnik efektywności energetycznej Energy effectiveness index
Cecha – Test characteristic			12	13	14
Tradycyjna Conventional A	0 S	2007	94048	17520	5,37
		2008	100576	17520	5,74
		2009	113999	17520	6,51
	Średnio – Mean		102874 *a*	17520	5,87 *a*
	40 S	2007	106462	18081	5,89
		2008	105495	18081	5,83
		2009	115466	18081	6,39
	Średnio – Mean		109141 *a*	18081	6,04 *a*
	Średnio – Mean A		106008 B	17800	5,95 B
Uproszczona Simplified B	0 S	2007	82905	16720	4,96
		2008	69577	16720	4,16
		2009	102534	16720	6,13
	Średnio – Mean		85005 *a*	16720	5,08 *a*
	40 S	2007	89794	17280	5,20
		2008	94668	17280	5,48
		2009	118820	17280	6,88
	Średnio – Mean		101094 *a*	17280	5,85 *a*
	Średnio – Mean B		93050 A	17000	5,47 A
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S		93940 a	17120	5,48 a
	40 S		105117 b	17680	5,94 b
Średnio w latach Mean of years	2007		93302 *a*	17400	5,35 *a*
	2008		92579 *a*	17400	5,30 *a*
	2009		112705 *b*	17400	6,48 *b*
Średnio – Mean			99529	17400	5,71

Objaśnienia: jak w tabeli 14 – Explanations: as in Table 14.

Tabela 35. Nakłady energetyczne i ich struktura w produkcji pszenżyta jarego
Table 35. Energy inputs and their structure in spring-Triticale production

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carries		Surowce i materiały Raw materials and materials		Środki inwestycyjne Investments		Praca ludzka Human labour		Ogółem Total MJ·ha^{-1}
		MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	MJ·ha^{-1}	%	
TRD* CST	0 S	2448	16,3	12469	71,2	1331	7,6	873	5,0	17520
	50 S	2848	15,7	13029	72,1	1331	7,4	873	4,8	18081
	Średnio Mean	2848	16,0	12749	71,6	1331	7,5	873	4,9	17800
UPR SST	0 S	2280	13,6	12469	74,6	1290	7,7	681	4,1	16720
	50 S	2280	13,2	13029	75,4	1290	7,5	681	3,9	17280
	Średnio Mean	2280	13,4	12749	75,0	1290	7,6	681	4,0	17000
Nawożenie Fertilizer	0 S	2564	15,0	12469	72,8	1310	7,6	777	4,5	17120
	50 S	2564	14,5	13029	73,7	1310	7,4	777	4,4	17680
Średnio – Mean		2564	14,7	12749	73,3	1310	7,5	777	4,4	17400

*TRD – tradycyjna uprawa roli – CST – conventional soil tillage, UPR – uproszczona uprawa roli – SST – simplified soil tillage.

Tabela 36. Struktura nakładów energetycznych w zabiegach wykonanych w uprawie pszenżyta jarego
Table 36. Structure of the energy inputs in the cultivation of spring-Triticale

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Jednostka Unit	Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie Fertilization	Ochrona i pielęgnacja Care and protection	Siew Sowing	Zbiór Harvest	Razem Total
TRD* CST	0 S	MJ·ha^{-1}	1463	318	730	401	1567	4178
		%	35,0	7,6	10,3	9,6	37,5	100
	40 S	MJ·ha^{-1}	1463	318	730	401	1567	4178
		%	35,0	7,6	10,3	9,6	37,5	100
	Średnio Mean	MJ·ha^{-1}	1463	318	730	401	1567	4178
		%	35,0	7,6	10,3	9,6	37,5	100
UPR SST	0 S	MJ·ha^{-1}	855	318	730	401	1567	3570
		%	23,9	8,9	12,0	11,2	43,9	100
	40 S	MJ·ha^{-1}	855	318	730	401	1567	3570
		%	23,9	8,9	12,0	11,2	43,9	100
	Średnio Mean	MJ·ha^{-1}	855	318	730	401	1567	3570
		%	23,9	8,9	12,0	11,2	43,9	100
Średnio nawożenie Mean of fertilization	0 S	MJ·ha^{-1}	1159	318	730	401	1567	3874
		%	29,9	8,2	11,1	11,1	40,5	100
	40 S	MJ·ha^{-1}	1159	318	730	401	1567	3874
		%	29,9	8,2	11,1	11,1	40,5	100
Średnio – Mean		MJ·ha^{-1}	1159	318	730	401	1567	3874
		%	29,9	8,2	11,1	11,1	40,5	100

*TRD – tradycyjna uprawa roli – CST – conventional soil tillage, UPR – uproszczona uprawa roli – SST – simplified soil tillage. Objaśnienia: % – udział procentowy w odniesieniu do sumy nakładów w zabiegach – Explanations: percentage share in relation to the share of sum in treatments.

6. DYSKUSJA

Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury i badań własnych można stwierdzić, że plonowanie ziemniaka i pszenżyta jarego nie wykazuje jednoznacznej reakcji na stosowaną uprawę roli i nawożenie mineralne, bowiem również zależy od wielu innych czynników. Zaliczają się do nich między innymi: warunki siedliskowe i pogodowe, wyposażenie techniczne, dobór środków ochrony roślin (Krzymuski 1984, Klikocka 2000, Gruczek 2001, Kraska i Pałys 2002, Deryło i Szymankiewicz 2003, Gugała i Zarzecka 2008a,b). Niektóre rośliny (zboża, niektóre strączkowe, rzepak, kukurydza) na sprawnych glebach praktycznie nie obniżają istotnie plonu, bez względu na stopień wprowadzanych uproszczeń, a więc plonują podobnie pod wpływem uprawy bezorkowej i siewu bezpośredniego (Dzienia i in. 1988). Jednakże w gorszych warunkach należy się liczyć ze zmniejszeniem wydajności dochodzącym nawet do 20% (Radecki 1986). Zdaniem niektórych autorów stosowanie gruberów zamiast pługa w uprawie pożniwnej może nawet przyśpieszyć o 50% rozkład słomy i resztek korzeniowych. Kultywator bywa ponadto wykorzystywany do zabiegów podstawowych i przedsiewnego doprawiania roli pod różne rośliny, bez wyraźniejszego oddziaływania na obniżkę plonu (Biskupski i Sienkiewicz 1994).

Na podstawie danych zawartych w piśmiennictwie i wyników badań własnych stwierdzono, że deficytowym pierwiastkiem w żywieniu roślin jest siarka. Zawartość siarki ogólnej w glebach pól uprawnych Zamojszczyzny waha się w zakresie od 110 do 174 $mg \cdot kg^{-1}$, natomiast przyswajalnej siarki siarczanowej ($S\text{-}SO_4$) od 4 do 41 $mg \cdot kg^{-1}$ (przeciętnie 18,0 $mg \cdot kg^{-1}$); (Klikocka 2005c, Klikocka i Sachajko 2007). Według klasyfikacji zaproponowanej przez Terelaka i in. (2002) wartości te odpowiadają przeciętnej zawartości siarki siarczanowej w glebie. Klikocka (2005c, 2009) wykazała ponadto, że biosfera badanego regionu wolna jest od zanieczyszczeń siarką, a poziom imisji SO_2 (depozyt suchy i mokry) wynosi przeciętnie 18,2 kg $S \cdot ha^{-1}$. Według Grzebisza i Przygockiej-Cyny (2003) ta forma pierwiastka (SO_2), oraz forma H_2S może być źródłem siarki dla rośliny uprawnej. Autorzy ci podają równocześnie, że średni opad dla Polski wynosi 11,5 kg $S \cdot ha^{-1}$. Jest to jednakże zbyt mała ilość składnika, aby pokryć potrzeby roślin uprawnych, w tym ziemniaka i pszenżyta jarego. Potwierdzają to także badania prowadzone przez Bloem (1998) i Klikocką (2009).

6.1. Plon i jego komponenty oraz jakość i skład chemiczny bulw ziemniaka

Według Klikockiej (2000), spośród różnych metod uprawy roli pod ziemniaka, najbardziej pracochłonna jest uprawa tradycyjna (płużna), co skłania do wprowadzania uproszczeń. Jednak wielu autorów uważa, że eliminowanie lub

ograniczanie niektórych zabiegów uprawowych powoduje pogorszenie właściwości fizycznych gleby (Husnjak i in. 2002), wzrost zachwaszczenia (Derksen i in. 1995, Jabłoński i Bernat 2002, Bujak i Frant 2006, Gawęda i Szymankiewicz 2007, Kraska i in. 2006, Różyło i Pałys 2007) oraz zmniejszenie plonu bulw ziemniaka (Boligłowa i Gleń 2003, Deryło i Szymankiewicz 2003, Grant i Epstein 1973). W prezentowanym doświadczeniu własnym porównywano dwa sposoby uprawy roli – uprawę tradycyjną płużną (pełną) i uproszczoną (w której zrezygnowano z klasycznej podorywki na rzecz oprysku herbicydem Roundup 360 SL i wyeliminowano orkę przedzimową). Wesołowski i in. (1996) odradzają eliminowanie niektórych zabiegów uprawowych, a zwłaszcza orki. Ich zdaniem, w tym przypadku zmniejszeniu ulega plon ziemniaka, a w górnych warstwach gleby gromadzi się substancja pokarmowa i organiczna, zaś rola staje się zbytnio zagęszczona i dochodzi do zwiększenia ogólnego zachwaszczenia i niekorzystnych zmian w składzie botanicznym chwastów.

Na podstawie przeprowadzonych badań nad uprawą ziemniaka średniowczesnej odmiany Irga dowiedziono istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli w stosunku do uproszczonej na wzrost plonu ogólnego (11%), handlowego bulw (14%) i sadzeniaków (12%) oraz plonu z 1 rośliny (10%), plonu i udziału frakcji bulw 50-60 mm (odpowiednio 12 i 5%). W przypadku pozostałych badanych cech struktury plonu zauważono korzystną tendencję po zastosowaniu tradycyjnej uprawy roli na wzrost średniej liczby i masy bulw z 1 rośliny oraz plonu i udziału frakcji do 30 mm i ponad 60 mm. Zdaniem Gugały i Zarzeckiej (2008a) plon użytkowy bulw ziemniaka odmiany Wiking zależał istotnie od sposobu uprawy roli. Zastosowane uproszczenia, w porównaniu z tradycyjną uprawą płużną przyczyniło się do zmniejszenia plonu o 9,4%. W badaniach Deryły i Szymankiewicza (2003) obniżenie plonu bulw, po wyeliminowaniu niektórych zabiegów uprawowych, wynosiło 11,4%, a według Boligłowy i Gleń (2003) 6,9%. Ponadto autorzy ci zaobserwowali pogorszenie struktury plonu. W prowadzonych badaniach Gugały i Zarzeckiej (2008a) na obiektach z uprawą tradycyjną był większy udział bulw użytkowych w plonie ogólnym. Zbliżoną reakcję na uproszczoną uprawę obserwowali Jankowska i Szymankiewicz (2004), Sawicka i Pszczółkowski (2003) oraz Zarzecka i Gugała (2004). Na podstawie badań własnych można stwierdzić, że tradycyjna uprawa roli wpływała korzystnie na polepszenie wiązania większej ilości bulw najdrobniejszych (które nie są uwzględniane w plonie handlowym i sadzeniaków) i dużych (które mogą być przeznaczone na sprzedaż), natomiast uprawa uproszczona sprzyja rozwojowi frakcji pośrednich, co może zostać wykorzystane w praktyce, jako metoda produkcji bulw sadzeniaków. Plon handlowy stanowił 84% plonu ogólnego. W doświadczeniu Ceglarka i in. (1989) udział bulw konsumpcyjnych wyniósł średnio 88%. Natomiast Klikocka (2000) stwierdziła, że bezpłużna uprawa roli w połą-

czeniu z pielęgnacją mechaniczno-chemiczną, wpływała korzystnie na plon handlowy bulw i plon frakcji sadzeniaków.

W polowych badaniach własnych udowodniono dodatni wpływ drugiego czynnika – nawożenia siarką na plonowanie ziemniaka. Stwierdzono, że korzystnie na plon bulw wpływało nawożenie siarczanem potasu (K_2SO_4) w ilości 50 kg S·ha^{-1}. Uzyskano zwyżkę plonu ogólnego bulw w stosunku do obiektu kontrolnego, odpowiednio o 8%, a także zwiększenie plonu handlowego i sadzeniaków oraz plonu i udziału w plonie bulw frakcji powyżej 50 mm. Korzystny wpływ nawożenia siarką w szerokim spektrum nawozowym, a więc w formie siarczanu potasu, siarczanu amonu, sufranu plus, pojedynczego superfosfatu, gipsu, pirytu i siarki pierwiastkowej na plonowanie ziemniaka wykazało wielu autorów (El-Fayoumy i El-Gamal 1998, Lalitha i in. 1997, Mondal i in. 1993, Pickny i Grocholl 2002, Sarkar i in. 1994, Singh i Srivastava 1993). Sud i in. (1996) zalecają stosowanie siarki pierwiastkowej pod ziemniaka w ilości 36-40 kg·ha^{-1}, natomiast Pickny i Grocholl (2002) proponują dawkę w zakresie 40-80 kg·ha^{-1}. Badania Klikockiej (2004a) wykazały, że optymalną dla plonowania ziemniaka dawką siarki elementarnej jest 50 kg·ha^{-1}. Jednakże, niektóre przeprowadzone badania wykazały obniżenie plonu bulw ziemniaka w wyniku stosowania siarki elementarnej (Eppendorfer i Eggum, 1994).

W badanym doświadczeniu własnym jakość bulw i ich skład chemiczny zależały istotnie od czynników doświadczenia. Uprawa tradycyjna wpływała na zwiększenie plonu suchej masy (o 12%), zawartości i plonu skrobi (o 1,5 i 13%), białka ogólnego (o 3,7 i 15%) oraz zawartości azotu (o 3,8%) w porównaniu do wartości stwierdzonych w warunkach uprawy uproszczonej. Natomiast zawartość suchej masy i siarki oraz stosunek N:S nie zależał od sposobu uprawy roli. Gugała i in. (2008a, b) prowadząc podobne badania nie zaobserwowali istotnego wpływu uprawy tradycyjnej w stosunku do uprawy uproszczonej na plony suchej masy, skrobi i białka ogólnego bulw ziemniaka. Ekeberg i Riley (1996) podają zaś, że wyższą zawartość azotu w bulwach zauważono w warunkach uprawy bezpośredniej. Singh i in. (1995) twierdzą, że nawożenie siarką podwyższa zawartość suchej masy, białka przyswajalnego i wolnych aminokwasów w bulwach, a także wpływa na zwiększenie w nich zawartości wapnia, magnezu, siarki, miedzi i żelaza. Podobne wyniki otrzymano w badaniach własnych, gdzie wykazano wzrost plonu skrobi (o 9%), plonu i zawartości białka ogólnego (o 5 i 8%) pod wpływem nawożenia siarczanem potasu (K_2SO_4) w ilości 50 kg S·ha^{-1}. Eppendorfer i Eggum (1994) twierdzą, że po zastosowaniu siarki zmniejsza się w bulwach zawartość cysteiny-S + metioniny-S oraz leucyny, a wzrasta zawartość argininy i kwasu glutaminowego. Taka reakcja roślin traktowanych siarką wskazuje na polepszenie się wartości pokarmowej bulw ziemniaka, Barczak i Kozera (2004) podają, że metionina jest aminokwasem ograniczającym syntezę białka w ziemniaku, natomiast wartość odżywcza tuberyny jest wyższa od wartości białka ziar-

na zbóż i roślin motylkowych, ponieważ białko to charakteryzuje się dobrze zbilansowanym składem aminokwasowym. Korzystne oddziaływanie $CaSO_4$ na zwiększenie zawartości białka w bulwach ziemniaka obserwowali także Mondy i Pannampalam (1986), a obniżenie intensywności ich ciemnienia enzymatycznego Mondy i in. (1987). El-Fayoumy i El-Gamal (1998) wykazali, że nawożenie ziemniaka siarką sprzyja wzrostowi w bulwach zawartości karotenu, witaminy C, skrobi, białka i zmniejszeniu zawartości cukrów. Ponadto wzrasta zawartość azotu, fosforu i mikroskładników, a ich akumulacja w bulwach jest większa. Sud i in. (1996) wykazali wzrost zawartości siarki w bulwach ziemniaka po zastosowaniu siarczanu amonu i gipsu (31,9-35,0%) oraz siarki elementarnej (o 80,2%). Wyniki te znajdują potwierdzenie w prezentowanych badaniach własnych, w których wykazano że zawartość siarki i azotu w suchej masie bulw były istotnie wyższe po zastosowaniu nawożenia siarką (odpowiednio dla S o 5%, N o 6%).

Na ogół wartość badanych cech ziemniaka (plon i elementy jego struktury, jakość i skład chemiczny) były najsilniej kształtowane przez czynnik pogodowy, a także pod wpływem współdziałania pogody z uprawą roli i nawożeniem siarką. Na nagromadzanie plonu suchej masy bulw, skrobi oraz białka ogólnego istotny wpływ miały warunki pogodowe. Najbardziej sprzyjający koncentracji suchej masy i skrobi oraz plonowaniu ziemniaka był rok 2008, który charakteryzował się najbardziej korzystnymi warunkami pogodowymi. Potwierdzeniem takiej zależności są wyniki uzyskane w badaniach Bombika i in. (2007), Puły i Skowery (2004), Sas-Piotrowskiej (1974) oraz Zarzeckiej (1997) i Gugały i in. (2008a, b), którzy dowiedli, że w latach o równomiernym rozkładzie opadów i temperatury zarówno plon ogólny, jak i zawartość poszczególnych składników były wyższe, co skutkowało zebraniem większych plonów składników odżywczych ziemniaka. Zdaniem Sawickiej i Pszczółkowskiego (2004) większość cech ziemniaka jest uwarunkowana genetycznie i równolegle podlega dużej zmienności fenotypowej w zależności od działania różnych czynników środowiska i genotypu. Jakość ziemniaka (zdrowotność, wielkość, reakcja na sposób przechowywania) zależy w dużej mierze od typu gleby i warunków środowiska glebowego (zmienność glebowa, zróżnicowane pH) oraz wpływu warunków meteorologicznych, takich jak: opady, temperatura, światło (Głuska 2002, Krzysztofik i in. 2004, Sawicka i Pszczółkowski 2004). Duże znaczenie ma rozkład opadów w okresie wegetacji. Opady maja (do 40 mm) i czerwca (40-80 mm), w zależności od klasy wczesności ziemniaka decydują o liczbie bulw małych i średnich, natomiast lipca (80-90 mm) i sierpnia (powyżej 100 mm) o udziale bulw dużych. Dostateczne zaopatrzenie w wodę łagodzi niekorzystny wpływ wysokiej temperatury. Optymalna suma opadów w okresie od maja do września jest w latach chłodnych dość niska i wynosi około 250 mm, natomiast w sezonach ciepłych i słonecznych wzrasta powyżej 350 mm (Ceglarek i Zarzecka 1999). Temperatura i opady atmosferyczne okre-

su wegetacji oraz ich rozkład decydują zatem o średnicy bulw, zwłaszcza frakcji małych i dużych, a w konsekwencji o wielkości plonu handlowego bulw i sadzeniaków. W Polsce przeciętnie w dziesięcioleciu występują dwa lata o bardzo małej sumie opadów i rok bądź dwa o dużej. Jednocześnie niemal w każdym sezonie występują krótkie, około dwutygodniowe, okresy posuszne. Straty plonów ziemniaka wynikające z niedoboru wody sięgają około 20% (Ceglarek i Zarzecka 1999).

W doświadczeniu własnym dokonano szczegółowej analizy wpływu warunków meteorologicznych na elementy struktury plonu. Wykazano, że sezon wegetacyjny (IV-IX) w roku 2007 był dość suchy (współczynnik hydrotermiczny = 1,3), 2008 był dość wilgotny (1,5), a rok 2009 był suchy (1,1). Plon ogólny bulw i plon z 1 rośliny korelował istotnie dodatnio z sumą opadów okresu V-VI i średnią temperaturą powietrza okresu VII-VIII, natomiast ujemnie ze średnią temperaturą okresu V-VI. Komponenty plonu wykazały także liczne istotne związki z rozkładem opadów i temperatury, co znajduje potwierdzenie w literaturze. Sawicka i Pszczółkowski (2004) podają, że spośród czynników meteorologicznych największy wpływ na spadek plonu bulw i ograniczenie udziału frakcji 50-60 i powyżej 60 mm wywiera wysoka temperatura powietrza okresu lipiec-sierpień. Ceglarek i Zarzecka (1999) twierdzą, że najkorzystniejsza temperatura w okresie lipiec-sierpień wynosi około 20°C w ciągu dnia i 14-15°C w nocy. Gugała i Zarzecka (2008a) podają, że na kształtowanie plonu bulw także istotnie wpływały warunki pogodowe w latach badań. Najwyższe plony otrzymano w sezonie o korzystnych warunkach pogodowym, natomiast w roku posusznym, który był niekorzystny dla wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka plony bulw były mniejsze o 37%.

W reasumpcji za Mazurczykiem (1994) należy stwierdzić, że zawartość suchej masy i skrobi są najbardziej stabilnymi cechami w składzie chemicznym ziemniaka.

6.2. Plon i jego komponenty oraz jakość i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego

Badania nad uprawą roli pod pszenżyto jare przeprowadzili Starczewski i in. (1995). Na podstawie doświadczeń polowych autorzy ci, wykazali że sposoby przedsiewnej uprawy roli nie wpływały istotnie na wschody roślin, plon ziarna i jego strukturę (z wyjątkiem liczby ziaren w kłosie) oraz plon słomy. W innym doświadczeniu Starczewski i Czarnocki (2004) stwierdzili, że pszenżyto jare plonowało najwyżej na obiekcie z uprawą tradycyjną. Najmniejszy spadek plonu wystąpił na obiekcie traktowanym herbicydem, a niespełna 10% niższy poziom plonowania obserwowano na obiekcie pożniwnie talerzowanym. Zastąpienie podorywki kultywatorowaniem lub zupełna rezygnacja z uprawy pożniwnej oraz orka razówka tuż po żniwach powodowały spadek plonu ziarna o kolejne 5-10%.

Tylko zupełne zrezygnowanie z orki powodowało statystycznie udowodniony 50% spadek plonowania. Natomiast eksperymenty Czarnockiego i in. (2006) wskazują, że wykonywanie orki razówki tuż po zbiorze przedplonu jest wskazane w agrotechnice pszenżyta. Dzienia i in. (1994) podają, iż uproszczenia w uprawie gleby powodują wyraźne zmniejszenie plonu ziarna pszenżyta, które wynoszą do 7%, po zastosowaniu podorywki ścierniska kultywatorem oraz do 10% po zastosowaniu orki "razówki" lub glebogryzarki. Ponadto daleko idące uproszczenia powodowały istotny spadek plonu ziarna sięgający 14% na obiektach, na których zastosowano kultywator z wałem strunowym – w porównaniu z uprawą tradycyjną. Podobnie z badań Wróbla i Budzyńskiego (1994) wynika, że uproszczenia w agrotechnice powodują istotny spadek plonu ziarna pszenżyta. Również w badaniach Klikockiej (1999) stwierdzono, iż uproszczenia w uprawie roli (zaniechanie zabiegów płużnych) wpływają na obniżenie plonu ziarna, głównie poprzez zmniejszenie obsady kłosów. W przeprowadzonych badaniach własnych wykazano zgodność wyników z cytowaną literaturą, bowiem uprawa tradycyjna powodowała istotny wzrost plonu ziarna o 12% w stosunku do osiągniętego w warunkach uprawy uproszczonej. Zaobserwowano również korzystny wpływ uprawy tradycyjnej na obsadę kłosów (o 8%). Natomiast odmienną tendencję zaobserwowano w przypadku masy tysiąca ziaren, gdyż MTZ była wyższa o 3% po zastosowaniu uprawy uproszczonej w stosunku do tradycyjnej. Inne komponenty plonu nie zależały od sposobu uprawy roli. Mazurek i Mazurek (1990) podają że, uprawa roli w mniejszym stopniu wpływa na masę 1000 ziaren, która to w większym stopniu uzależniona jest od układu warunków pogody w okresie dojrzewania pszenżyta niż od podstawowych czynników agrotechnicznych. Natomiast Stankowski (1994) i Koziara (1996) twierdzą, że pszenżyto jare cechuje się stosunkowo słabą krzewistością i dominacją pędu głównego nad bocznymi, a jednocześnie obsada kłosów oraz dorodność kłosów i ziarna podlegają doraźnemu wpływowi warunków wodnych. Zdaniem Nieróbcy (2002) procesy samoregulacji zachodzące w łanie pszenżyta powodują, że liczba roślin na 1 m^2 w fazie strzelania w źdźbło wynosi 400-500 roślin, a wysoki plon ziarna można uzyskać z łanu o obsadzie 450-500 kłosów na 1 m^2. Jednakże w zaleceniach agrotechnicznych dla pszenżyta jarego za optymalną gęstość wysiewu uznaje się 450-650 ziaren$\cdot m^{-2}$ (Mazurek i Rybicki 1988, Mazurek i Mazurek 1990). Natomiast Stankowski (1994) oszacował za pomocą linii regresji parabolicznej, że pszenżyto jare najlepiej plonowało przy wysiewie 608-800 ziaren$\cdot m^{-2}$. Wyniki otrzymane w doświadczeniu Stankiewicza (2004) wskazują na nieco wyższy plon ziarna odmiany Wanad przy większych gęstościach wysiewu (500-750 ziaren$\cdot m^{-2}$). Brak istotnych różnic w plonowaniu pszenżyta jarego przy zróżnicowanej gęstości wysiewu stwierdzili Jaśkiewicz i Mazurek (2000). Fakt ten tłumaczą oni tym, że mniejszy plon z rośliny i z kłosa na obiektach o dużej obsadzie roślin i kłosów przy siewie

500 ziaren·m^{-2} spowodował brak zróżnicowania w stosunku do obiektu z gęstością 300 ziaren·m^{-2}. Chrzanowska-Dróżdż i Liszewski (2000) podają, że reakcja odmian na gęstość wysiewu jest cechą odmianową. Stwierdzili oni, że nawet zwiększenie gęstości wysiewu do 500 ziaren·m^{-2} powodowało spadek plonu ziarna odmiany Migo. W badaniach własnych średnia obsada kłosów pszenżyta jarego odmiany Wanad wynosiła 730 szt·m^{-2}, uzyskano liczbę ziaren z 1 kłosa średnio 41,4 sztuk oraz średni plon ziarna – 5,42 t·ha^{-1}.

Zróżnicowany sposób uprawy roli nie wpływał na jakość i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego. Jedynie plon białka ogólnego był wyższy o 11% po zastosowaniu uprawy tradycyjnej. Jednakże cecha ta związana jest ściślej z plonem ziarna, aniżeli z zawartością azotu. W badaniach Stankiewicza (2004) plon białka ogólnego i jego zawartość w ziarnie istotnie wzrastały pod wpływem zwiększenia gęstości wysiewu. Podobną zależność zaobserwowali Błażej i in. (1995) oraz Dzienia i in. (1994). W odniesieniu do czynnika drugiego uwzględnionego w badaniach stwierdzono pozytywną reakcję pszenżyta jarego na nawożenie siarczanem amonu ($(NH_4)_2SO_4$) w ilości 40 kg S·ha^{-1}. Nastąpił istotny wzrost plonu ziarna (o 11%), białka ogólnego (o 3%) oraz zawartości w ziarnie siarki (o 3%) i azotu (o 3%). Ponadto wykazano, że nawożenie siarką wpływało również istotnie na liczbę ziaren w kłosie. Klikocka (2004a, b, c) prowadząc badania nad nawożeniem pszenżyta jarego siarką stwierdziła brak reakcji na nawożenie siarką w postaci siarczanu amonu w dawce 25 kg S·ha^{-1}. Dopiero podwyższenie dawki siarki do 50 kg·ha^{-1} powodowało istotny wzrost plonu ziarna, białka ogólnego oraz zawartości i pobrania przez ziarno siarki i azotu. Wśród fizjologicznych funkcji siarki w roślinie wymienia się wpływ tego makroskładnika na syntezę aminokwasów. Stosując zatem nawozy zawierające siarkę można spodziewać się dużej akumulacji azotu w ziarnie (Potarzycki 2003). Zjawisko to potwierdzono w prowadzonych badaniach, gdyż pod wpływem nawożenia siarką wzrastała w ziarnie zawartość azotu. Fotyma (2003) prowadząc badania nad nawożeniem pszenicy jarej siarką, wykazała że zastosowanie dawki 60 kg S·ha^{-1} wpływało na wzrost plonu ziarna i pobranie azotu, ale nie miało wpływu na akumulację siarki w ziarnie. Fotyma (2003) twierdzi, że siarka może zwiększać plony roślin w sposób pośredni, wpływając na przemiany azotu w roślinie. Za miarodajny wskaźnik zaopatrzenia roślin w siarkę uznaje się stosunek azotu do siarki w białkach, który zdaniem Oenemy i Postmy (2003) wynosi 15:1. W doświadczeniu własnym stosunek N:S po zastosowaniu nawożenia siarczanem amonu w dawce 40 kg S·ha^{-1} zmalał nieznacznie w stosunku do występującego na obiekcie kontrolnym i wynosił średnio 14:1.

Na ogół, wartości badanych cech pszenżyta jarego (plon, komponenty, jakość i skład chemiczny) były najsilniej kształtowane pod wpływem działania czynnika pogodowego, a następnie w wyniku współdziałania pogody z uprawą roli i nawo-

żeniem siarką. Najbardziej niesprzyjający koncentracji białka ogólnego i azotu oraz plonowaniu pszenżyta na tle najniższej obsady kłosów był dość wilgotny sezon wegetacyjny w 2008 r. Potwierdzenie takiej zależności można odnaleźć w wynikach badań Wojcieskiej i Gontarczuk (1989), Nowickiej (1993), Panek (1993) i Rudnickiego i in. (1997), którzy dowodzą istotnego wpływu pogody (temperatury, ilości i rozkładu opadów atmosferycznych) w poszczególnych fazach rozwojowych zbóż na wielkość i strukturę plonu ziarna. W badaniach własnych stwierdzono, że warunki pogodowe różnicowały generalnie wszystkie badane cechy, charakteryzujące strukturę plonu, jakość i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego. Czynnik pogodowy najsilniej determinował: obsadę kłosów, plon z 1 kłosa, masę tysiąca ziaren i liczbę ziaren z 1 kłosa. Dodatnia korelacja wystąpiła pomiędzy tymi cechami a opadami w okresie całej wegetacji (IV-VIII) i w okresie IV-V. Natomiast w przypadku opadów okresu VI-VIII i rozkładem temperatury we wszystkich okresach, w odniesieniu do wymienionych cech odnotowano korelację ujemną. Całkowicie odmienne związki stwierdzono pomiędzy warunkami pogodowymi a obsadą kłosów. Plon ziarna determinowany był przez warunki pogodowe od 1 do 15%, natomiast pozostałe cechy, z wyjątkiem długości kłosa podlegały silnemu oddziaływaniu pogody, nawet do 78%. Szczególnie niekorzystny wpływ opadów na cechy jakościowe ziarna (zawartość i plon białka ogólnego, zawartość azotu i siarki) obserwowano w okresie IV-V. Natomiast korzystny wpływ stwierdzono w odniesieniu do temperatury, z którą korelowały dodatnio badane cechy jakości ziarna. Koziara i in. (1994, 2007) stwierdzili, że zmienność warunków pogodowych znalazła odzwierciedlenie w plonowaniu pszenżyta jarego. Wielkość plonu ziarna okazała się w większym stopniu zależna od opadów, szczególnie w miesiącach maj i czerwiec niż z warunkami termicznymi. O takich zależnościach względem pszenżyta jarego donosi Koziara (1996). Podobnie Rudnicki i Kotwica (1993) wykazali silną zależność plonu ziarna z jednostki powierzchni od sumy opadów w okresie wegetacji.

6.3. Ekonomiczna efektywność produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego

Gonet (1992), Biskupski i Sienkiewicz (1994) oraz Klikocka (2006) zwracają uwagę na konieczność poszukiwania kompromisu między nakładami ponoszonymi na uprawę roli a uzyskanymi efektami. Według obliczeń Dzieni i in. (1994), w zależności od gatunku rośliny, aż 40-70% energii zużywanej w całej produkcji przypada na uprawę roli. Natomiast spośród wszystkich czynności uprawowych najbardziej pracochłonna jest orka. Według Dzieni i Sosnowskiego (1990) oraz Goneta (1992) pochłania ona 25-40% całkowitych nakładów robocizny i nawet do 50% kosztów paliwa zużytego w tym procesie agrotechnicznym. Biskupski i in. (1997) twierdzą, że wartość uzyskanych oszczędności w zużyciu paliwa

i pracochłonności systemów uproszczonych w porównaniu z tradycyjnym systemem uprawy roli jest wielokrotnie mniejsza od poniesionych strat w plonach. Przeglądowa praca Pudełki i in. (1994) wykazuje, że również w warunkach USA wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli, a zwłaszcza stosowanie siewu bezpośredniego, przynosiło różne efekty ekonomiczne.

Zdaniem Harasima i in. (2007) mechaniczna uprawa roli charakteryzuje się na ogół dużą pracochłonnością i dlatego poszukuje się efektywnych sposobów jej uproszczenia. Nakłady na produkcję ziemniaka w Polsce wynoszą 85-158 rbh·ha^{-1} (Beres 1993). W badaniach własnych uprawa ziemniaków pochłaniała przeciętnie 45 rbh, ponieważ do zbioru bulw zastosowano kombajn, co znacznie ograniczyło pracochłonność tego zabiegu i całej technologii produkcji. Natomiast pracochłonność uprawy pszenżyta jarego wynosiła przeciętnie 10 rbh. Zdaniem Beresa (1993), Czyż i in. (1995) oraz Klikockiej (2000, 2001) i Jabłońskiego (2006) uprawa roli pod ziemniaka pochłania 25-40% całkowitych nakładów robocizny. Wynik ten potwierdzono w badaniach własnych.

Najwyższymi kosztami bezpośrednimi w produkcji ziemniaka charakteryzowała się tradycyjna uprawa roli połączona z nawożeniem podstawowym NPK (8529 zł·ha^{-1}). Zastosowanie uproszczeń w uprawie roli i nawożenia NPKS spowodowało obniżenie kosztów bezpośrednich o 163 zł·ha^{-1}. Zarzecka (2008) podaje, że koszty bezpośrednie produkcji ziemniaka uprawianego metodą tradycyjną były zróżnicowane w zależności od uproszczeń w uprawie roli i były niższe w warunkach uprawy uproszczonej aniżeli tradycyjnej, kształtowały się od 5341 do 5601 zł·ha^{-1}. Gugała i Zarzecka (2006) oraz Gugała i in. (2008b) wykazali również niższe koszty w przypadku zastosowania uproszczonej uprawy roli zamiast tradycyjnej. Koszty uprawy roli w produkcji ziemniaka stanowiły 2,0-4,1% (przeciętnie 3,0%). Na ich zróżnicowanie wpływało stosowanie klasycznej podorywki i orki przedzimowej w wariancie tradycyjnej uprawy roli oraz zastosowanie Roundupu 360 SL w zamian podorywki i brak orki przedzimowej w wariancie z uproszczoną uprawą roli. Klikocka (2004a) podaje, że koszty uprawy roli w produkcji ziemniaka stanowią przeciętnie 2,4%. Natomiast Chotkowski (2000, 2002) twierdzi, że na ich zróżnicowanie w największym stopniu wpływa stosowana technologia produkcji. W badaniach własnych koszty nawożenia mineralnego (NPK) wynosiły 1242 zł·ha^{-1}, co stanowiło około 14,6% nakładów, a wniesienie siarki w ilości 50 kg S·ha^{-1} w formie siarczanu zmniejszyło nakłady do 1155 zł·ha^{-1} (13,7%). W badaniach Klikockiej (2004a) nawożenie mineralne (NPK) wymagało 10,6% kosztów, a wniesienie siarki w formie siarczanu, w ilości 25 i 50 kg S·ha^{-1} zwiększyło koszty odpowiednio do 12,0% i 14,4%. Rembeza (2002) podaje, że do najważniejszych nakładów wpływających zarówno na plon jak i na opłacalność

produkcji należą nawozy mineralne. W badaniach własnych wszystkie zabiegi uprawy roli stanowiły przeciętnie 44,3% kosztów, a wśród nich największy udział miały zbiór i transport (21,1%), koszty związane z nawożeniem organicznym i mineralnym (7,8%) oraz koszty pracy ludzkiej (5,4%). Materiały i środki do produkcji stanowiły 55,7% kosztów bezpośrednich. Wśród nich największy udział miał koszt poniesiony na zakup sadzeniaków (25,6%), nawozów mineralnych (14,2%), środków ochrony roślin (13,1%). Klikocka (2004a) podaje, że sadzeniaki stanowiły aż 40,7% w bezpośrednich kosztach produkcji. Rembeza (2002) donosi, że środki ochrony roślin należą do głównych nakładów, które wpływają istotnie zarówno na plon, jak i na opłacalność produkcji. Gugała i in. (2008b) obliczyli, że koszty różnych sposobów pielęgnacji ziemniaka wynoszą od 516 do 833 zł·ha^{-1}. Najniższe koszty ponoszono przy bezherbicydowym sposobie odchwaszczania, natomiast na pozostałych obiektach o wysokich kosztach pielęgnacji zdecydowały głównie ceny herbicydów. W badaniach własnych w roku 2009 koszt pielęgnacji w zróżnicowanych sposobach uprawy roli wynosił odpowiednio 247 i 389 zł·ha^{-1}. Golinowska (2001) stwierdziła, że koszty chemicznej ochrony roślin wykazują tendencje wzrostowe. Dobek (2006a) wykazał, że najwyższe koszty w zróżnicowanych wariantach technologii produkcji ziemniaka wystąpiły w przypadku kosztów eksploatacji maszyn i narzędzi; wahały się one od 3801 zł·ha^{-1} w roku 2002 do 2266 zł·ha^{-1} w roku 2003. Jabłoński (2006) podaje, że koszty uproszczonych wariantów uprawy roli pod ziemniaka stanowiły od 24 do 71% kosztów tradycyjnej uprawy z podorywką, orką przedzimową i zabiegami wiosennymi.

Opłacalność produkcji ziemniaka w badaniach własnych była ściśle związana z wielkością plonu handlowego. Najkorzystniejszy plon handlowy (26,3 t·ha^{-1}) uzyskano w obiektach z tradycyjną uprawą roli i nawożeniem NPK + S. Na pozostałych obiektach był on niższy, chociaż nie potwierdzono tego statystycznie. Podobnie w badaniach Nowackiego (2000) niskim nakładom towarzyszył niższy i gorszej jakości plon. Chotkowski i Rembeza (1990) dowiedli, że uzyskiwanie wyższych plonów wymaga poniesienia większych kosztów, które są w pełni rekompensowane przyrostem wartości plonu. Rembeza (1993) podkreśla również ścisły związek między czynnikami agrotechnicznymi, zwłaszcza nawożeniem i ilością zabiegów chemicznych, a wielkością i zmiennością zbieranego plonu.

Biorąc pod uwagę efekty ekonomiczne należy podkreślić, że każdy z badanych sposobów uprawy roli charakteryzował się dodatnią nadwyżką bezpośrednią, ale jedynie w przypadku sprzedaży ziemniaków na targowisku. Natomiast sprzedaż po cenach skupu z października 2009 r. bez względu na zastosowany wariant technologii przynosiła stratę, również w przypadku uwzględnienia dopłat

bezpośrednich (JPO). Najwyższą wartość produkcji a zarazem najwyższą nadwyżkę bezpośrednią stwierdzono w przypadku tradycyjnej uprawy roli połączonej z nawożeniem NPK + S, a najniższą otrzymano w przypadku uprawy uproszczonej połączonej z nawożeniem NPK. We wcześniejszych badaniach Klikockiej (2004a, b, c) dowiedziono, że każdy z zastosowanych sposobów uprawy roli charakteryzował się dodatnią nadwyżką bezpośrednią. Jednakże największą nadwyżkę stwierdzono w przypadku uprawy konserwującej z jesiennym formowaniem redlin połączonej z nawożeniem siarką (bez względu na formę) w ilości 50 kg $S \cdot ha^{-1}$ oraz siarką siarczanową w ilości 25 kg $S \cdot ha^{-1}$. Natomiast najniższą otrzymano w przypadku uprawy uproszczonej z wiosennym formowaniem redlin (uproszczonej) połączonej z nawożeniem siarką w postaci K_2SO_4 w ilości 50 kg $S \cdot ha^{-1}$. Gugała i in. (2008b) uzyskali korzystniejszy wynik finansowy na obiektach z uproszczoną uprawą roli połączeną ze zwiększoną intensywnością odchwaszczania w porównaniu do uprawy tradycyjnej. Podobnie Zarzecka (2008) wykazała większą wartość produkcji w warunkach uprawy tradycyjnej niż uproszczonej. Rembeza i Chotkowski (1995) twierdzą, że ogólne warunki produkcyjne i ekonomiczne powodują, że produkcja ziemniaka obarczona jest dość dużym ryzykiem. Wahania cen sprawiają, że nawet przy bardzo wysokim poziomie produkcji trudno uniknąć znacznych wahań uzyskiwanych dochodów.

Najkorzystniejsze wskaźniki sprawności ekonomicznej otrzymano w kombinacji tradycyjnej uprawy roli połączonej z nawożeniem NPK + S. W tym przypadku największa była nadwyżka bezpośrednia przypadająca na 1 godzinę nakładów pracy ogółem, najniższy koszt produkcji 1 dt ziemniaków. Również Zarzecka (2008) w warunkach stosowania uprawy tradycyjnej zamiast uproszczonej uzyskała korzystniejszą nadwyżkę bezpośrednią. W badaniach własnych w wariancie uprawy tradycyjnej z nawożeniem NPK + S najkorzystniejszy była również wynik kalkulacji różnicowej, której za punkt odniesienia przyjęto uprawę tradycyjną połączoną z nawożeniem NPK. Natomiast w warunkach uprawy uproszczonej bez względu na nawożenie mineralne produkcja ziemniaka przyniosła stratę. Klikocka (2004a) donosi, że najkorzystniejszym wskaźnikiem efektywności ekonomicznej i najniższym kosztem produkcji 1 t ziemniaka charakteryzowała się uprawa redlinowa w połączeniu z nawożeniem siarką pierwiastkową w dawce 50 $kg \cdot ha^{-1}$ i siarką SO_4^{2-} w ilości 25 kg $S \cdot ha^{-1}$. Nieuzasadnione ekonomicznie było natomiast łączenie uprawy redlinowej wiosennej (uproszczonej) z nawożeniem siarką w postaci siarczanu potasu w ilości 50 kg $S \cdot ha^{-1}$. Uzyskano wówczas najniższy wskaźnik efektywności ekonomicznej, najwyższy koszt produkcji 1 t ziemniaka oraz ujemny wynik kalkulacji różnicowej.

W doświadczeniu własnym z pszenżytem jarym pracochłonność uprawy tradycyjnej wynosiła· 11,1 rbh·ha^{-1}, a uproszczonej 8,7 rbh·ha^{-1}. Klikocka (2005d) podaje, że nakłady pracy w poszczególnych wariantach technologii produkcji pszenżyta jarego zależały również od stopnia jej uproszczenia. Największymi nakładami pracy ludzkiej charakteryzowała się uprawa tradycyjna (15,8 rbh·ha^{-1}), natomiast w uprawie uproszczonej z dwukrotnym kultywatorowaniem ograniczono nakłady pracy o 1,9 rbh·ha^{-1}, a dalsze uproszczenie uprawy roli zmniejszało pracochłonność dodatkowo o 1,0 rbh·ha^{-1}.

Najwyższymi kosztami bezpośrednimi w produkcji pszenżyta jarego w 2009 r., w prezentowanych badaniach charakteryzowała się kombinacja, gdzie stosowano tradycyjną uprawę roli połączoną z nawożeniem NPK + S (3065 zł·ha^{-1}). Zastosowanie uproszczeń w uprawie roli i nawożenia NPK spowodowało obniżenie kosztów bezpośrednich o 114 zł·ha^{-1}. Koszty uprawy roli stanowił przeciętnie 5,5% bezpośrednich kosztów produkcji. Klikocka (2005d) podaje, że koszt płużnej uprawy roli pod pszenżyto jare nie był wysoki i stanowił około 10% kosztów bezpośrednich. W doświadczeniu własnym najwyższy udział w kosztach bezpośrednich stanowiły nawozy mineralne (NPK) - 36,8%. Razem materiały i środki do produkcji stanowiły 65,2% kosztów bezpośrednich, a zabiegi uprawy roli stanowiły przeciętnie 31,5%. Klikocka (2005d) stwierdziła, że największą pozycję w kosztach bezpośrednich w produkcji pszenżyta jarego stanowiły: nawozy mineralne (około 38%), materiał siewny (około 20%) i zbiór ziarna (około 20%).

Należy zauważyć, że w warunkach cenowych w 2009 r. każdy z zastosowanych wariantów technologii produkcji pszenżyta jarego charakteryzował się stratą, niezależnie od miejsca zbytu ziarna (na skupie lub na targowisku). Klikocka (2005d) podaje, że w warunkach cenowych z 2003 r. najkorzystniejszą była produkcja pszenżyta jarego w warunkach tradycyjnej uprawy roli i w połączeniu z nawożeniem siarką w ilości 40 kg·ha^{-1} jak i z nawożeniem kontrolnym (NPK). Natomiast stosowanie uproszczeń uprawowych w jesieni poprzez zastąpienia pługa kultywatorem nieznacznie obniżało koszty uprawy, ale wpływało niekorzystnie na plonowanie pszenżyta jarego i w konsekwencji obniżało efekty ekonomiczne. Czarnocki i in. (2006) podają, że uproszczenia w uprawie pszenżyta jarego pozwoliły w skrajnym przypadku na ograniczenie poniesionych kosztów o ponad 50%. Jednak niewielki udział uprawy roli w całokształcie kosztów sprawił, że w ostatecznym rozrachunku różnice pomiędzy skrajnymi wartościami tylko nieznacznie przekraczały 10%. Podobnie jak w badaniach Włodka i in. (1999), straty w wielkości plonu znacznie przekroczyły wartość uzyskanych korzyści wynikających z uproszczeń w uprawie roli.

W analizowanym eksperymencie własnym największą wartość produkcji i najkorzystniejszą nadwyżkę bezpośrednią stwierdzono w przypadku tradycyjnej uprawy roli połączonej z nawożeniem NPK + S, a najmniejs z a w warunkach uprawy uproszczonej połączonej z nawożeniem NPK. Klikocka (2005d) stwierdziła, że w produkcji pszenżyta jarego w stosunku do uprawy płużnej i nawożenia kontrolnego NPK najkorzystniejszą kombinacją była uprawa płużna z dwukrotnym kultywatorowaniem połączona z nawożeniem siarką w ilości 50 kg $S \cdot ha^{-1}$. W badaniach własnych jedyną możliwością zbilansowania kosztów bezpośrednich oraz uzyskania dodatniej nadwyżki bezpośredniej były dopłaty bezpośrednie i sprzedaż ziarna na targowisku. Majchrzak i in. (2009) wykazali, że koszty produkcji pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego w latach 2005 i 2006 były wyższe od wartości plonów, a po uwzględnieniu dopłat bezpośrednich (JPO) wynik ekonomiczny w roku 2005 był dodatni, natomiast w roku 2006 dopłaty nie rekompensowały poniesionych kosztów produkcji. Natomiast w 2007 roku mimo niższych plonów pszenżyta ozimego uzyskano większą opłacalność uwarunkowaną wyższą ceną skupu ziarna i dopłatą bezpośrednią (Majchrzak i in. 2009).

Podsumowując dyskusję na temat efektów ekonomicznych można stwierdzić, że w badanych wariantach technologii produkcji koszty uprawy roli pod ziemniaka stanowiły przeciętnie 3,0%, natomiast pod pszenżyto jare 5,5%. Stąd nie ma ekonomicznego uzasadnienia, aby rezygnować z tradycyjnej uprawy roli na rzecz uproszczonej, bowiem ta obniża istotnie plon roślin i nadwyżkę bezpośrednią. Jednakże Klikocka (2004c) i Jabłoński (2006) podają, że wprowadzanie uproszczeń w uprawie roli pod ziemniaka, pomimo obniżenia plonu bulw w niektórych wariantach jest uzasadnione ekonomicznie, bowiem rezygnacja z wysokonakładowej orki przedzimowej na rzecz innych zabiegów uprawowych lub pielęgnacji chemicznej w pełni rekompensuje obniżkę plonu. Stosowanie nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę zwiększało plony bulw i ziarna, a w konsekwencji wpływało na wzrost nadwyżki bezpośredniej. Należy dodać, że w przypadku nawożenia ziemniaka zastosowanie siarczanu potasu było tańsze od soli potasowej.

Największy wpływ na zróżnicowanie poziomu nadwyżki bezpośredniej miał plon handlowy i ceny sprzedaży bulw i ziarna oraz dopłaty bezpośrednie. Przy dość wyrównanym poziomie kosztów bezpośrednich to właśnie te trzy czynniki decydowały o dochodowości produkcji. Jednakże, w przypadku pszenżyta jarego to tylko sprzedaż ziarna po cenach targowiskowych plus dopłaty bezpośrednie rekompensowały koszty i umożliwiły osiągnięcie nadwyżki bezpośredniej.

6.4. Energetyczna efektywność produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego

Ocenę produkcji roślinnej często ogranicza się do kryteriów produkcyjnych i ekonomicznych, natomiast jej istotnym uzupełnieniem powinien być rachunek energetyczny (Harasim i in. 2007). Może być on stosowany do oceny efektywności energetycznej poszczególnych zabiegów agrotechnicznych, całych technologii produkcji ziemiopłodów i płodozmianów (Anuszewski 1987, Harasim 2002, Wielicki 1989).

Przeprowadzone badania nad uprawą ziemniaka i pszenżyta jarego wykazały, że korzystniejszy wskaźnik efektywności energetycznej osiągano w przypadku stosowania tradycyjnej uprawy roli i nawożenia NPK + S (niż w uprawie uproszczonej z nawożeniem NPK), co wynikało głównie z racji wyższego plonu. Natomiast uproszczona uprawa roli nie rekompensowała niższymi nakładami energetycznymi zabiegów wskaźnika efektywności energetycznej. Wielicki (1989) podaje, że w przeciętnych warunkach gospodarowania na 1 jednostkę nakładów energetycznych w produkcji roślinnej powinno się uzyskać około 4 jednostki energetyczne w produkcie (plonie) podstawowym. Czarnocki i in. (2008) uzyskali najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej na obiekcie z pszenżytem ozimym, gdzie wykonywano orkę razówkę tuż po żniwach. Natomiast w przypadku zaniechania wykonywania takiej orki wskaźnik efektywności energetycznej był istotnie niższy. W innych badaniach Czarnockiego i in. (2006) wskaźnik efektywności energetycznej przy uproszczeniach w uprawie roli pod pszenżyto jare nieznacznie odbiegał od uzyskanego przy uprawie tradycyjnej, a w niektórych przypadkach kształtował się na wyższym poziomie. Dobka (2004) podaje, że zastosowanie kultywatora lub glebogryzarki zamiast pługa w uprawie roli pod pszenżyto prowadziło do zmniejszenia nakładów energetycznych. Klikocka (2005d) w przypadku uprawy pszenżyta jarego wykazała najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej w warunkach do stosowania uprawy płużnej, zaś wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli powodowało zmniejszenie energochłonności zabiegów mechanicznych i pracy ludzkiej. Natomiast w przypadku uprawy ziemniaka Klikocka (2006) stwierdziła, że zróżnicowane sposoby uprawy roli nie wywierały istotnego wpływu na łączną wielkość nakładów energetycznych. Jednakże w przypadku stosowania tradycyjnej uprawy płużnej odnotowano w strukturze nakładów większy udział bezpośrednich nośników energii (paliwa), środków inwestycyjnych i pracy ludzkiej.

W badaniach własnych w strukturze nakładów ponoszonych na produkcję ziemniaka i pszenżyta jarego odnotowano duży udział bezpośrednich nośników energii (paliwa), środków inwestycyjnych i pracy ludzkiej. Był on większy w przypadku tradycyjnej uprawy roli, natomiast wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli wpływało na obniżenie tych nakładów, zwłaszcza paliwa i pracy

ludzkiej. Czarnocki i in. (2008) badając energochłonność zróżnicowanych technologii produkcji pszenżyta ozimego, stwierdzili że największe zużycie paliwa na całokształt technologii występowało przy tradycyjnym przygotowaniu roli do siewu uwzględniającym zarówno podorywkę, jak i orkę siewną. Rezygnacja z mechanicznej uprawy roli po żniwach na rzecz stosowania herbicydu totalnego dała oszczędność w kosztach wynoszącą 28,6%, natomiast aż 35,2% oszczędności uzyskano wykonując tuż po żniwach orkę razówkę na głębokość 20 cm. Zupełna rezygnacja z uprawy płużnej i ograniczenie się tylko do płytkiej uprawy wykonanej talerzówką i agregatem przedsiewnym pozwoliło na 60% oszczędności w zużyciu paliwa. Bardzo podobne relacje pomiędzy poszczególnymi obiektami uzyskano porównując pracochłonność zabiegów i produkcji.

W badaniach własnych wykazano, że niezależnie od czynników doświadczenia największy udział w nakładach energetycznych stanowiły surowce i materiały (ponad 60%), a wśród nich energia zawarta w nawozach mineralnych i oborniku oraz w sadzeniakach i ziarnie siewnym. Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach Czarnockiego i in. (2008), którzy wykazali że największe nakłady na wszystkich obiektach pochłonęło nawożenie (62%), natomiast udział nakładów na uprawę roli i pielęgnację wynosił od 14,2% przy uprawie tradycyjnej do 7,4% przy uprawie bezorkowej. Ponad 60% udział nakładów energetycznych na nawożenie i ochronę wykazali także Budzyński i Szempliński (1996), Budzyński i in. (2000), Dopka (2004) i Klikocka (2004c, 2006), którzy dodają, że w nawożeniu główny udział energii stanowią nawozy azotowe. Udział nakładów energii na uprawę roli w badaniach Budzyńskiego i in. (2000) kształtował się w granicach 7-15%, czyli nieco wyżej niż w badaniach własnych (ziemniak 5,2%, pszenżyto jare 8,3%).

Reasumując wyniki badań własnych, jak i prowadzonych przez innych badaczy, można stwierdzić, że stosowanie pełnej, tradycyjnej uprawy roli pod ziemniaka i pszenżyto jare stwarza najlepsze warunki dla plonowania roślin. Stosowanie uproszczeń w uprawie roli (zastępowanie klasycznej podorywki herbicydem, orki przedzimowej kultywatorwaniem, pomijanie wiosennego bronowania) może być uzasadnione ze względów organizacyjnych. Zabiegi alternatywne w tym przypadku charakteryzują się mniejszą pracochłonnością i nakładochłonnością, a w konsekwencji powodują obniżkę plonowania roślin i dają gorszy wynik finansowy.

Przy ustlaniu potrzeb nawozowych roślin uprawnych należy uwzględniać szereg istotnych parametrów, takich jak kategoria agronomiczna gleby, jej zasobność w składniki pokarmowe i odległość od emisji przemysłowych. Szczególnie gleby lekkie, mineralne wykazują deficyt m.in. siarki, dlatego też należy stosować ten składnik.

7. WNIOSKI

1. Najkorzystniejszy wpływ na plon bulw ziemniaka oraz jego jakość (zawartość i plon skrobi, białka ogólnego oraz zawartość siarki i azotu ogólnego) wywierała tradycyjna uprawa roli i nawożenie mineralne NPK wzbogacone w siarkę (siarczan potasu) w ilości 50 kg $S \cdot ha^{-1}$. Tradycyjna uprawa i nawożenie siarką wpływały korzystnie na plon bulw frakcji większych (> 50 mm), natomiast uprawa uproszczona i nawożenie NPK sprzyjało rozwojowi bulw frakcji pośrednich (30-50 mm), co może być wykorzystane w produkcji bulw handlowych lub sadzeniaków. W przypadku pszenżyta jarego optymalnym wariantem technologii produkcji wpływającym na zwiększenie plonu ziarna i poprawę jego jakości było stosowanie uprawy tradycyjnej i nawożenia siarką w dawce 40 kg $S \cdot ha^{-1}$ w formie siarczanu amonu.

2. Na ogół wartość badanych cech ziemniaka i pszenżyta jarego (plon główny, handlowy i sadzeniaków, plon z 1 rośliny, plon i udział poszczególnych frakcji bulw, średnia liczba i masa bulw, średnia liczba ziaren z kłosa i MTZ, zawartość i plon suchej masy, zawartość skrobi, białka ogólnego, siarki i azotu ogólnego) były silniej kształtowane przez czynnik pogodowy oraz jego współdziałanie z uprawą roli i nawożeniem siarką, niż bezpośredni wpływ uprawy roli i nawożenia S.

3. Pomiędzy badanymi cechami wystąpiły liczne istotnie współzależności. Plon główny, handlowy i bulw sadzeniaków korelował dodatnio ze średnią masą 1 bulwy i plonem frakcji powyżej 50 mm oraz z plonem suchej masy, skrobi i białka ogólnego. Natomiast plon ziarna pszenżyta jarego korelował dodatnio ze średnią liczbą ziaren w kłosie, MTZ, plonem białka i stosunkiem N : S.

4. Stosowanie tradycyjnej uprawy roli i nawożenia NPK + S pod ziemniaka i pszenżyto jare było ekonomicznie uzasadnione, bowiem uzyskano najkorzystniejszą nadwyżkę bezpośrednią. Opłacalność produkcji zależała również znacząco od cen zbytu ziemiopłodów i dopłat bezpośrednich.

5. W strukturze bezpośrednich kosztów produkcji obu roślin największy udział miały zbiór i transport (około 20%), sadzeniaki (25%), ziarno siewne (14%), nawozy mineralne (14-37%) oraz środki ochrony roślin (około 14%). Uprawa roli stanowiła tylko 3-5% w strukturze kosztów.

6. Zastosowanie tradycyjnej uprawy roli w produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego wpływało istotnie dodatnio na wskaźnik efektywności energetycznej. Nawożenie mineralne NPK+S w porównaniu do podstawowego NPK, nie zmieniało istotnie wskaźnika efektywności energetycznej produkcji ziemniaka, natomiast wpływało istotnie na poprawę efektywności produkcji pszenżyta jarego.

7. Największe nakłady energii w technologiach produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego wiązały się ze zużyciem surowców i materiałów (ponad 65% ogółu nakładu), głównie nawozów, sadzeniaków i ziarna siewnego. Energia wydatkowana na zabiegi mechaniczne stanowiła 22-32%, a sama uprawa roli tylko 4-7% ogółu nakładów energetycznych. W produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego można polecać stosowanie pełnej uprawy roli i nawożenie NPK + S, a uprawę uproszczoną stosować tylko ze względów organizacyjnych.

8. Wszystkie oceny – produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna – wskazują jednoznacznie, że w produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego efektywniejszy był wariant technologii z tradycyjną uprawą roli i nawożeniem mineralnym NPK uzupełnionym siarką.

8. PIŚMIENNICTWO

Anuszewski R., Pawlak J., Wójciki., 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER, Warszawa, 38, 717.

Anuszewski R., 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych (MET). Zag. Ekon. Roln., 4, 16-26.

Aulakh M.S., 2003. Crop responses to sulphur nutrition. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dodrecht, 341-358.

Baranowski R., Pabin J., Sienkiewicz J., 1988a. Badania gęstości wilgotności gleby w wieloletnich doświadczeniach uprawowych. Cz. I. Gleba lekka. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 356, 27-34.

Baranowski R., Pabin J., Sienkiewicz J., 1988b. Badania gęstości wilgotności gleby w wieloletnich doświadczeniach uprawowych. Cz. II. Gleba ciężka. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 356, 35-42.

Barczak B., Kozera W., 2004. Wpływ dolistnego nawożenia mikroelementami na zawartość i skład frakcyjny białka bulw ziemniaka. Fragm. Agron., 1, 9-18

Beres G., 1993. Porównanie energochłonności zabiegów w uprawie ziemniaków. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 159, 17-22.

Biskupski A., Sienkiewicz J., 1994. Efektywność różnych sposobów pożniwnej i przedsiewnej uprawy roli pod pszenicę ozimą i rzepak ozimy. Fragm. Agron., 1, 72-81.

Biskupski A., Włodek S., Kaus A., Pabin J., 1997. Efektywność różnych systemów uprawy roli w czteroletnim zmianowaniu. Bibl. Fragm. Agron., 3, 79-84.

Bloem E.M., 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. Landbauvorschung Völkenrode Sonderheft. 192: 1-156.

Bloem E., Haneklaus S., Schroetter S., Schung E., 2000. Aspects of agronomical and physiological research on sulfur deficiency in agricultural crops. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft. 218, 11-15.

Błażej J., Błażej J., Wójcikiewicz M., 1995. Produkcyjność pszenżyta ozimego przy zróżnicowanej agrotechnice. Zesz. Nauk. AR Kraków, Roln., 32, 133-143.

Boligłowa E., 1995. Wpływ dolistnego dokarmiania na plonowanie i jakość bulw ziemniaka. Rozpr. Nauk., 41, WSRP Siedlce.

Boligłowa E., Dzienia S., 1996. Wpływ nawożenia organicznego i sposobu uprawy roli na plonowanie i jakość bulw ziemniaka. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 172, Roln., 62, 37-42.

Boligłowa E., Gleń K., 2003. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, S. Agronomy, Vol. 6, Issue 1. www.ejpan.media.pl/sereis/volu mne6/issue1/agronomy/art-03.html

Bombik A., Rymuza K., Markowska M., Stankiewicz Cz., 2007. Variability analysis of selected quantitative characteristics in edible potato varietes. Acta Sci. Pol., Agric., 6, 3, 5-15.

Bonne F.R., De Smet L.A.H., 1978. A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil. Physical measurements and rooting patterns. Neth. J. Agric. Sci., 26, 405-420.

Borowiec M., 1973. Wpływ różnych sposobów uprawy na właściwości fizyczne gleby i plonowanie ziemniaków. Rocz. Nauk Roln., A, 99, 1, 111-129.

Brady N.C., Weil R.R., 1996. The nature and properties of soils. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Bramm A., Sourell H., 1990. Zur Ertragsbildung von Kartoffeln in Abhängigkeit von unterschiedlichen Beregnunsverfahren. Der Kartoffelbau, 41 (5), 184-187.

Broder M.W., Doran J.W., Peterson S.A., Fenster C.R., 1984. Faallow tillage influence on spring populations of nitrifiens, denitrifiens and available nitrogen. Soil Sci. Am. J., 48, 1060-1067.

Budzianowski G., Milewski G., 1999. Zasady uprawy pszenżyta jarego. Agrochemia, 2, 3-5.

Budzyński W., Fedejko B., Szempliński W., Majewska K., 1995. Energetyczna, produkcyjna oraz jakościowa ocena różnych technologii uprawy ozimej pszenicy chlebowej. Fragm. Agron., 3, 33-53.

Budzyński W., Dubis B., Wróbel E., 2000. Ekonomiczna i energetyczna efektywność różnych sposobów pielęgnacji i nawożenia pszenżyta ozimego. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 206, 31-38.

Budzyński W., Szempliński W., 1996. Rolnicza, jakościowa i energetyczna ocena różnych sposobów odchwaszczania i nawożenia azotem jarej pszenicy chlebowej. Cz. II. Energochłonność uprawy. Rocz. Nauk Rol. A, 112, 1-2, 93-101.

Budzynski W, Szemplinski W., 2003. Pszenżyto. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Z. Jasinska i A. Kotecki. Wyd. AR Wrocław, 155-189.

Bujak K., 1988. Wpływ uprawy roli narzędziami aktywnymi na niektóre fizyczne właściwości rędziny i plony. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 356, 117-124.

Bujak K., 1996. Plonowanie i zachwaszczenie roślin 4-polowego płodozmianu w warunkach uproszczonej uprawy roli na erodowanej glebie lessowej. Cz. I. Ziemniak. Annales UMCS. E, 51, 3, 11-17.

Bujak K., Frant M., 2006. Wpływ uproszczonej uprawy roli i nawożenia mineralnego na zachwaszczenie ziemniaka uprawianego na glebie lessowej. Acta Agrobot., 59, 2, 345-352.

Butters B., Chenry E.M., 1959. A rapid method for the determination of total sulfur in soils and plants. Analyst, 84, 239.

Campbell D.J., 1976. The occurrence and prediction of clods in potato ridges in relation to soil physical properties. J. Soil Sci., 27, 1-9.

Cannel R.Q., 1985. Reduced tillage in north-west Europe – a reviev. Soil Till. Res. 5, 129–177.

Ceglarek F., Jabłońska-Ceglarek R., Dąbrowska K., 1989. Uproszczenia w pielęgnowaniu ziemniaków. Cz. I Sposoby pielęgnacji a zachwaszczenie i plonowanie ziemniaków. Rocz. Nauk Roln., A, 108, 4, 10-23.

Ceglarek F., Zarzecka K., 1999. Ziemniak. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Z. Jasińska i A. Kotecki. Wyd. AR Wrocław, 315-373.

Chmielnicki J.W., 1987. Wpływ kształtu redlin i głębokości sadzenia na warunki wzrostu roślin, rozmieszczenie gniazd bulw i plonowanie ziemniaków. Cz. I. Rocz. Nauk Roln., A., 107, 2, 85-101.

Chotkowski J., 2000. Technologiczne i rynkowe czynniki opłacalności produkcji ziemniaków. Zag. Ekon. Rol., 2-3, 48-59.
Chotkowski J., Rembeza J., 1990. Ekonomika towarowej produkcji ziemniaków. Wyd. Inst. Ziemn. Bonin, 1-17.
Chotkowski J., 2002. Kalkulacje kosztów produkcji ziemniaków skrobiowych. Red. J. Chotkowski. Wieś Jutra, Warszawa, 47-53.
Chrzanowska-Dróżdż B., Liszewski M., 2000. Reakcja pszenżyta jarego Migo i Gabo na gęstość siewu. Zesz. Nauk. AR Szczecin, Roln., 82, 39-44.
Cyna K., Grzebisz W., 2003. Wpływ nawożenia siarką elementarną na zawartość siarczanów w glebie i plonowanie rzepaku ozimego. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 104-116
Czarnocki Sz., Starczewski J., Turska E., 2006. Ocena wybranych technologii uprawy pszenżyta jarego. Fragm. Agron., 2, 287-297.
Czarnocki Sz., Starczewski J., Kapela K., 2008. Porównanie zużycia paliwa i czasu pracy przy kilku alternatywnych technologiach przygotowania roli do siewu. Inż. Roln., 4, 102, 209-215.
Czuba R., Sienkiewicz J., 1987. Wpływ pogłębionej orki i zwiększonych dawek fosforu i potasu na plony roślin w zmianowaniu. Rocz. Nauk Roln., A, 106, 3, 149-163.
Czyż E., Tomaszewska J., Sawa J., 1995. Efektywność produkcyjna i energetyczna różnych systemów uprawy roli. Fragm. Agron., 1, 20-27.
Demmler D., 1995. Herbstdämme verminden Knollenbeschädigungen. Kartoffelbau, 46, 6, 250-253.
Derksen D.A., Thomas A.G., Lafond G.P., Loeppky H.A., Swanton C.J., 1995. Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation – Tillage Systems. Weed Research, 35, 311-320.
Deryło S., Szymankiewicz K., 2003. Plonowanie i zachwaszczenie ziemniaka w warunkach zróżnicowanego poziomu agrotechniki na glebie lekkiej. Annales UMCS, E, 58, 247-255.
Dmowski Z., 1997. Wpływ czynników beznakładowych w uprawie wybranych roślin. Cz. III. Rośliny okopowe. Bibl. Fragm. Agron., 3, 33-42.
Dobek T., 2006a. Efektywność ekonomiczna produkcji ziemniaków jadalnych w wybranych gospodarstwach. Inż. Roln., 2, 247-254.
Dobek T., 2006b. Efektywność energetyczna produkcji ziemniaków jadalnych w wybranych gospodarstwach. Inż. Roln., 2, 239-246.
Dobek T., Dziewanowska M. 2006. Struktura energochłonności produkcji pszenicy ozimej na przykładzie wybranego gospodarstwa. Inż. Roln., 5, 141-148.
Dopka D., 2004. Efektywność energetyczna zróżnicowanej uprawy przedsiewnej na przykładzie pszenżyta ozimego. Annales UMCS, E, 59, 4, 2071-2077.
Doran J.W., 1975. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Sc. Soc. Am. J., 26, 53-61.
Dziamba Sz., 1982. Wpływ zmiennego uwilgotnienia i typu gleby na plonowanie i strukturę plonu żyta, pszenicy i pszenżyta. Annales UMCS, E, 37, 6, 57-65.
Dzienia S., 1998. Współczesne systemy uprawy roli a plonowanie roślin. Nauka – Gospodarce. AR Szczecin, 3-14.
Dzienia S., Karnaś E., Sosnowski A., Romek B., 1988. Wpływ uprawy roli na plonowanie i zachwaszczenie roślin w zmianowaniu zbożowym. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 331, 257- 265.
Dzienia S., Sosnowski A., 1989. Wpływ różnych systemów uprawy roli i nawożenia mineralnego na właściwości fizyczne i plonowanie. Cz. I. Kukurydza pastewna. Rocz. Nauk Roln., A, 108, 1, 115-124.

Dzienia S., Sosonowski A., 1990. Uproszczenia w podstawowej uprawie roli a wysokość nakładów energii. Fragm. Agron., 2, 71-79.

Dzienia S., Piskier T., Wereszczaka J., 1994. Wpływ uproszczonych sposobów uprawy gleby na nakłady energetyczne i plonowanie pszenżyta ozimego. Fol. Univ. Agric. Stein., 162, Agric., 58, 45-48.

Dzienia S., Malicki L., Nowicki J., Wesołowski M., 1995. Sposób uprawy roli a plonowanie niektórych roślin na różnych glebach. Mat. Konf. "Siew bezpośredni w teorii i praktyce". AR Szczecin, 99-107.

Dzienia S., Szarek P., 2000. Efektywność uprawy bezpłużnej oraz międzyplonów i słomy w produkcji ziemniaka. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 470, 145-152.

Dzieżyc H., Panek K., Zmyślony R., 1997. Wpływ usłonecznienia, temperatury i opadów oraz interakcji między nimi na plon ziemniaków średniowczesnych w Polsce. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konf. XV, 313, 69-81.

Dzwonkowski W., Szczepaniak J., Zalewski A., Chotkowski J., Rembeza J., Mieczkowski M., 2010. Rynek ziemniaka – stan i perspektywy. IERiGŻ-PIB, ARR, MRiRW Warszawa.

Ekeberg E., Riley H. C. F., 1996. Effects of mouldboard ploughing and direct planting on yield and nutrient uptake of potatoes in Norway. Soil Till. Res., 39, 131-142.

El-Fayoumy M.E., El-Gamal A.M., 1998. Effects of sulphur application rates on nutrients availability, uptake and potato quality and yield in calcaerous soil. Egypt. J. Soil Sc., 38, 1-4, 271-286.

Eppendorfer W.H., Eggum B.O., 1994. Sulphur deficiency of potatoes as reflected in chemical composition and in some measures of nutritive value. Norweg. J. Agric. Sci. Suppl. 15, 127-134.

Eriksen J., Murphy M.D., Schnug E., 1998. The soil sulphur cycle. In: Sulphur in Agroecosystems (Eds E. Schnug, H. Beringer). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 39-73.

Fotyma E., 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 117-136.

Galiën M. v.d., 1966. Aardappelruggen maken in de herfst. Meded. N.A.K. 23, 4, 26-28.

Gawęda D., Szymankiewicz K., 2007. Zachwaszczenie ziemniaka w warunkach zróżnicowanej uprawy roli. Annales UMCS, E, 62, 1, 85-91.

Gawrońska-Kulesza A., 1997. Systemy i metody uprawy roli. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 439, 185-192.

Glawischinig E., Mikkelsen M.D., Halkier B.A., 2003. Glucosinolates: biosynthesis and metabolism. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 145-162.

Głuska A., 2002. Uprawa ziemniaków w warunkach nawadniania. W: Produkcja i rynek ziemniaków jadalnych. Red. J. Chotkowski. Wies Jutra, Warszawa, 169-182.

Golinowska M., 2001. Metody badawcze oceny ekonomicznej efektywności zabiegów ochrony roślin. Prog. Plant. Protect./Post. Ochr. Rośl. 41,1, 215-222.

Gonet Z., Zaorski T., 1988. Energochłonność orki w różnych warunkach glebowych. Pam. Puł., 91, 137-51.

Gonet Z., 1992. Metoda i niektóre wyniki badań energochłonności systemów uprawy roli. Fragm. Agron., 2, 30, 7-18.

Grabiński J., 1999. Technologie uprawy zbóż. Pam. Puł., 114, 403-415.

Grant W. J., Epstein E., 1973. Minimum tillage for potatoes. Am. Potato J., 50, 193-203.

Grimes D.W., Bishop J.C., 1971. The influence of some soil physical properties on potato yields and grade distribution. Am. Potato J., 48, 418-422.

Gruczek T., 1994. Zalecenia agrotechniczne. Technologia uprawy roślin. Ziemniak jadalny. IUNG Puławy, 25.

Gruczek T., 2001. Efektywne sposoby walki z chwastami i ich wpływ na jakość bulw ziemniaka. Biul. IHAR, 217, 221-231.

Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 64-77.

Grzebisz W., Haerdter R., 2006. Kizeryt – naturalny siarczan magnezu w produkcji roślinnej. Verlagsgesselschaft für Ackerbau mbH, Kassel, Niemcy 2006.

Gugała M., Zarzecka K., 2006. Efektywność ekonomiczna ochrony ziemniaka przed chwastami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 511, 441-449.

Gugała M., Zarzecka K., 2008a. Wpływ uprawy roli i sposobów odchwaszczania na plony składników odżywczych i efektywność ekonomiczną uprawy ziemniaka. Cz. I. Plony składników odżywczych ziemniaka. Acta Sci. Pol., Agric., 7, 2, 21-31.

Gugała M., Zarzecka K., Baranowska A., 2008b. Wpływ uprawy roli i sposobów odchwaszczania na plony składników odżywczych i efektywność ekonomiczną uprawy ziemniaka Cz. II. Ekonomiczny efekt różnej intensywności odchwaszczania ziemniaka Acta Sci. Pol., Agric., 7, 2, 33-40.

Gupta A.K., Schnug E., 2001. Physiological, agronomic, horticultural and industrial aspects of sulphur nutrition in plants. In: Production and Developmental Plant Physiology (Eds. Bora *et al.*). Pointer Publishers, Jaipur (India), 269-286.

Hack H., Gall H., Klemke Th., Klose R., Meier U., Stauss R., Witzenberger A., 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.) Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH Scala mit Abbildungen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 45, 11-19.

Häge H., 1993. Mulchkultur bei Kartoffeln. Kartoffelbau, 44, 7, 277-279.

Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2002a. Sulfur. In: Encyclopedia of soil science (Ed Rattan Lal). Marcel Dekker Inc., New York, 1282-1288.

Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2002b. The Significance of Sulphur Induced Resistance (SIR) for Sustainable Agricultural Production Systems. 13th International Reinhardsbrunn Symposium "Modern Fungicides and Antifungal Compounds", 14.-18. Mai 2001, Friedrichroda, Germany, 365-372.

Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2003. The global sulphur cycle and its links to plant environment. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1-28.

Hanusz Z., Kowalczyk-Juśko A., Olejnik J., 2003. Estymacja względnej efektywności dwóch form nawozów azotowych stosowanych pod tytoń. Fragm. Agron., 4, 32-42.

Harasim A., 1989. Ocena ekonomiczna i energetyczna ogniw zmianowania z różnym udziałem jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 4, 54-65.

Harasim A., 2002. Kompleksowa ocena płodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych. Monografie i Rozprawy Naukowe. IUNG Puławy. Rozprawa habilitacyjna, 1.

Harasim A., Bujak K., Frant M., 2007. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomu nawożenia mineralnego na efektywność energetyczną produkcji roślinnej w płodozmianie 4-polowym. Fragm. Agron., 1, 64-71.

Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1986. World Water for Agricluture – Precipitation Management. Int. Irrigation Centre. Departament of Agricultural and Irrigation Engineering UMC 83 B, Utah State University, Logan, Utah 84322, USA.

Hunnius W., Bachthaler G., 1975. Zur Ackervorbereitung von Kartoffeln. Kartoffelbau, 25, 44-45.

Husnjak S., Filipović D., Košutić S., 2002. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. Rostl. Vyr., 48, 249-254.

Jabłoński K., 1997. Sadzenie, pielęgnacja i ochrona roślin. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, 52-70.

Jabłoński K., Bernat E., 2002. Agrotechniczne efekty bezpłużnej uprawy roli pod ziemniaki. Pam. Puł., 130, 201-308.

Jabłoński K., 2006. Agrotechniczne i ekonomiczne efekty uproszczonej uprawy roli pod ziemniaki. Inż. Roln., 3, 21-30.

Jankowska D., Szymankiewicz K., 2004. Plonowanie ziemniaka w płodozmianie i monokulturze w warunkach zróżnicowanej uprawy roli. Annales UMCS, E, 59, 989-994.

Jaskulskl D., Jaskulska I., 2004. Wpływ nawożenia słomą, międzyplonów ścierniskowych i zróżnicowanej uprawy roli na efekt energetyczny uprawy jęczmienia jarego. Fragm. Agron. 3, 49-59.

Jaśkiewicz B., 2009. Czynniki decydujące o regionalnym zróżnicowaniu produkcji pszenżyta w Polsce. Fragm. Agron. 26, 2, 72-80.

Jaśkiewicz B., Mazurek J., 2000. Produkcyjność pszenżyta jarego przy różnych technikach nawożenia azotem i gęstości siewu. Zesz. Nauk. AR Szczecin, Roln., 82, 105-107.

Kalembasa S., Amberger A., Symanowicz A., Godlewska A., 1995. Zawartość organicznych i nieorganicznych związków siarki i fosforu w glebie po wieloletnim zróżnicowanym nawożeniu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 421a, 173-179.

Kamionka J., 2005. Wpływ techniki na efektywność pogłównego nawożenia zbóż. Rozprawa habilitacyjna, 19. Inż. Roln., 9, 15, 43-57.

Kern H., Budzyńska K., Gądor K., Hołowiński J., Zbysław B., Deputat T., 1990. Warunki przyrodnicze produkcji rolnej. Województwo zamojskie. IUNG Puławy.

Klepacki B., Gołębiewska B., 2002. Opłacalność produkcji ziemniaków jadalnych. W: Produkcja i rynek ziemiaków jadalnych. Red. J.Chotkowski. Wieś Jutra, Warszawa, 40-48.

Klikocka H., 1999. Wpływ zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia azotowego na plon pszenżyta jarego. Fol. Univ. Agric.Stetin.,195, Agric.,74, 249-254.

Klikocka H., 2000. Badania nad wprowadzeniem nowych technologii uprawy ziemniaków. Pam. Puł., 120, 217-224.

Klikocka H., 2001. Pracochłonność oraz efektywność energetyczna i ekonomiczna różnych systemów uprawy roli i pielęgnowania ziemniaków. Annales UMCS, E, 56, 17, 141-157.

Klikocka H., 2002. Studia nad plonowaniem ziemniaka w warunkach zróżnicowanej uprawy roli i pielęgnowania. Rozprawy Naukowe AR Lublin, 253.

Klikocka H., Spiess E., 2002. Przyjazne środowisku metody uprawy roli pod ziemniaki. Pam. Puł., 130/I, 347-356.

Klikocka H., Stoeven K., Schnug E., 2003a. Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf bodenmikrobiologische Parameter und Kartoffelertrag. Landbauvorschung Völkenrode, 53, 4, 209-215.

Klikocka H., Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2003b. Ocena potrzeb nawożenia ziemniaka siarką. Nawozy i nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 143-150.

Klikocka H., 2004a. Nawożenie ziemniaka siarką. Fragm. Agron., 3, 80-94.

Klikocka H., 2004b. Wpływ nawożenia siarką na plon i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego oraz właściwości gleby. Fragm. Agron., 3, 70-79.

Klikocka H., 2004c. Wpływ konserwującej redlinowej uprawy roli i nawożenia siarką na ocenę plonowania ziemniaka. Annales UMCS, E, 59, 1, 353-361.

Klikocka H., Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2005. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. J. Plant Nutrition, 28, 5, 1-14.

Klikocka H., 2005a. Sulphur status in environment. J.Elementol., 10, 3, 625-643.

Klikocka H., 2005b. Wpływ nawożenia siarką na wielkość plonu i stopień porażenia bulw ziemniaka przez *Streptomyces scabies* i *Rhizoctonia solani*. Fragm. Agron., 4, 38-50.

Klikocka H., 2005c. Prognoza potencjalnych niedoborów siarki w glebach uprawnych Zamojszczyzny – przydatność modelu MOPS. Fragm. Agron., 4, 51-70.

Klikocka H., 2005d. Efektywność produkcji pszenżyta jarego w zależności od technologii produkcji i nawożenia siarką. Rocz. SERIA, 7, 7, 154-159.

Klikocka H., 2006. Efektywność energetyczna różnych sposobów uprawy roli i nawożenia naturalnego w produkcji ziemniaka. Acta Agrophysica, 8, 2, 385-393.

Klikocka H., Sachajko J., 2007. Wpływ nawożenia ziemniaka siarką na plon bulw handlowych i sadzeniaków. Acta Agrophysica 10, 2, 383-396.

Klikocka H., 2009. Sulfur supply in Polish agriculture. In: Sulfur Metabolism in Plants (Eds A. Sirko, L.J. De Kok, S. Haneklaus, M.J. Hawkesford, H. Rennenberg, K. Saito, E. Schnug, I. Stulen). Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, Margraf Publishers, Weikersheim, Germany, 45-48.

Koc J., Domska D., 1993. Plonowanie pszenżyta jarego zależnie od przedplonu i nawożenia. Fragm. Agron. 4, 63-64.

Kondracki J., 1994. Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne. PWN Warszawa, 196-215

Kopriva S., Koprivova A., 2003. Sulphate assimilation: a pathway which likes to surprise. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 87-112.

Kordas L., 2005. Energy and economic effects of reduced tillage in crop rotation. Acta Sc. Pol. Agric., 4, 1, 51-59.

Koter M., Panek H., 1996. Badania nad pobieraniem dwutlenku siarki z atmosfery i opadów przez rośliny uprawne przy wykorzystaniu izotopu ^{35}S. Rocz. Nauk Roln., A, 90, 499-508.

Kowalski J. i in., 2002. Postęp naukowo-techniczny a racjonalna gospodarka energią w produkcji rolniczej. PTIR Kraków.

Koziara W., Czajka M., Sobiech S., 1994. Wpływ deszczowania, nawożenia azotowego i stosowania bercemy CCC na plonowanie pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 58, 162, 107-110.

Koziara W., 1996. Wzrost, rozwój oraz plonowanie pszenżyta jarego i ozimego w zależności od czynników meteorologicznych i agrotechnicznych. Rocz. AR Poznań, 269.

Koziara W., Sulewska H., Panasiewicz K., 2007. Biological and economical effects of nitro gen fertilization desisting in spring barley and spring triticale cultivation. J. Res. and Appl. Agric. Eng., 52, 3, 82-88.

Kraska P., Pałys E., 2002. Wpływ systemów uprawy roli, poziomów nawożenia i ochrony na plonowanie ziemniaka uprawianego na glebie lekkiej. Biul. IHAR 223/224, 383-394.

Kraska P., Pałys E., Kuraszkiewicz R., 2006. Zachwaszczenie łanu ziemniaka w zależności od systemu uprawy, poziomu nawożenia mineralnego i intensywności ochrony. Acta Agrophysica, 8, 2, 423-433.

Krasowicz S., Podolska G., 1996. Efektywność energetyczna uprawy pszenicy przy różnej intensyfikacji produkcji. Rocz. Nauk Roln., 88, 4, 113-126.

Krzymuski J., 1984. Ocena działania czynników plonowania zbóż. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 305, 33-64.

Krzysztofik B., Szecówka P., Nawara P., 2004. Zmiany cech jakościowych bulw ziemniaka wynikające z czynników glebowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 500, 225-234.
Kuczyńska M., Popiołek W., 2001. Ocena sprawności energetycznej wybranych działalności produkcji rolniczej. Annales UMCS, E, 56, 27, 245-254.
Kulczycki G., 2003. Wpływ nawożenia siarką elementarną na plon i skład chemiczny roślin oraz właściwości gleby. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 151-159.
Kuś J., Krasowicz S., Harasim A., 1992. Studia nad możliwością zwiększenia udziału zbóż w strukturze zasiewów. VI. Eektywność energetyczna. Pam. Puł., 101, 185-199.
Kuś J., 1998. Optymalizacja uprawy roli. IUNG Puławy. Mat. szkol., 67, 3-43.
Lalitha B.S., Sharanappa, Hunsigi G., 1997. Balance sheet of available potassium and sulphur as influenced by K and S application in seed tuber and true potato seed raised crop. J. Indian Potato Assoc., 24, 3-4, 171-173.
Lancashire PD., Bleiholder H., Van den Boom T., et al., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology, 119, 561-601.
Laskowski S., Zbieć I., 1965. Wpływ sposobu pogłębiania orki przedzimowej na dynamikę niektórych fizyko-chemicznych właściwości gleby lekkiej i plony ziemniaków. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 50b, 185-193.
Lasztity B., 1993. The variation of sulfur contents and uptake in triticale during growth. Agrochimica, 37, 1-2, 179-186.
Leszczyński W., 1994. Wpływ czynników działających w okresie wegetacji ziemniaka na jego jakość. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 421a, 55-68.
Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T., 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. Rocz. Glebozn., 54, 3, 79-84.
Lombard P.M., 1936. Comparative influence of different tillage practices on the yield of the Katahdin potato in Maine. Amer. Potato J., 13, 252-255.
Lorencowicz E., 2002. Tabele do ćwiczeń z użytkowania maszyn rolniczych. Wyd. AR Lublin.
Majchrzak L., Pudełko J., Spurtacz S., 2009. Opłacalność uprawy pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego w warunkach produkcyjnych w latach 2005-2007. Fragm. Agron., 2, 81-88.
Marchand P., 1984. Die Dammkultur im Produktionsverfahren Kartoffeln. Dissertation, Humboldt-Universität, Berlin.
Marks N., 1994. Nowa technika uprawy ziemniaka. Zesz . Probl. Post. Nauk Roln., 415, 185-192.
Marks N., 1996. Proekologiczne metody uprawy i nawożenia ziemniaka. Rocz. AR Poznań, 286, 137-145.
Marks M., 1998. Studium nad racjonalizacją uprawy gleb ciężkich. Acta Acad. Agric.Techn. Olsten., 572. Rozprawy i Monografie, 5, 1-72.
Mazurek J., Kuś J., 1985, Plonowanie odmian pszenżyta w zależności od dawki azotu i ilości wysiewu. Pam. Puł. 85, 51-65.
Mazurek J., Mazurek J., 1987. Produkcyjność pszenżyta i innych zbóż w różnych siedliskach. Fragm. Agron., 2, 31-46.
Mazurek J., Mazurek J., 1990. Uprawa pszenżyta. PWRiL Warszawa, 36-78.
Mazurek J., Rybicki J., 1988. Wpływ ilości wysiewu na plon i strukturę plonu pszenżyta jarego. Konf. Nauk. „Obsada a produktywność roślin uprawnych" IUNG Puławy, 84-91.
Mazurczyk W., 1990. Potencjalne i rzeczywiste plony ziemniaka. Cz. II. Porównanie potencjalnych i rzeczywistych plonów polskich odmian ziemniaka. Fragm. Agron., 2, 29-38.
Mazurczyk W., 1994. Skład chemiczny dojrzałych bulw 30 odmian ziemniaka. Biul. Inst. Ziemn., 44, 55-62.

Merrien A., 1991. Diagnostica des risques de malnutrition soufree chez le colza d'hiver. In: L'azote et le soufre dans le sol (Ed P. Duc). Ed. Frontieres, Gif-sur-Yvette Cedex, 197-204.
Michalski T., 1993. Wpływ posiewnych zabiegów uprawowych na rozwój i plonowanie jęczmienia jarego, owsa i pszenżyta jarego. Rocz. Nauk Roln., A, 110, 1-2, 139-147.
Mocek A, Drzymała S, Maszner P., 1997. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. AR Poznan.
Mondal S.S., Chettri M., Sarkar S., Mondal T.K., 1993. Integrated nutrient management with sulphur bearing fertilizer, FYM and crop residues in relation to growth and yield of potato. J. Indian Potato Assoc., 20, 2, 139-143.
Mondy N.I., Gosselin B., Pannampalam R., 1987. Effect of soil application of magnesium sulfate and dolomite on the quality of potato tubers. Amer. Potato J., 64, 27-34.
Mondy N.I., Pannampalam R., 1986. Potato quality as affected by source of magnesium fertilizer: nitrogen, minerals and ascorbic acid. J. Food Sci., 51, 352-354.
Motowicka-Terelak T., Terelak H., 1998. Siarka w glebach Polski – Stan i zagrożenie. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Bibl. Monit. Środ., Warszawa.
Muśnicki Cz., 2003. Rośliny oleiste. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Z. Jasińska i A. Kotecki. Wyd. AR Wrocław, 396-398.
Muzalewski A., 2005, 2007, 2009. Koszty eksploatacji maszyn. IBMER Warszawa.
Nasalski Z., Sadowski T., Stępień A., 2004. Produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna efektywność produkcji jęczmienia ozimego przy różnych poziomach nawożenia azotem. Acta Sci. Pol. Agric., 3, 1, 83-90.
Neubauer W., 1997. Bodenbearbeitung: Soviel wie nötig – sowenig wie möglich. Kartoffelbau, 48, 1-2, 14-17.
Nieróbca P., 2002. Uprawa pszenżyta jarego na glebach lekkich. Agrochemia, 1, 8-10.
Niewiadomski W., 1979. Ekologiczne skutki intensyfikacji rolnictwa. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 228, 9-28.
Nowacki W., 2000. Uwarunkowania strukturalno-ekonomiczne i rynkowe produkcji i przechowalnictwa ziemniaka jadalnego w Polsce. Przegląd piśmiennictwa i wyniki badań własnych. Biul. IHAR, 213, 5-17.
Nowicka A., 1993. Temperatura. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa-Wrocław, 99-148.
Nowicki J., 1979. Porównanie siewu bezpośredniego z tradycyjną uprawą płużną. Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Roln., 28, 223-233.
Nowicki J., 1982. Rolnicza ocena glebogryzarki, pługofrezarki i brony wahadłowej w świetle 11-letnich badań. Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Roln., 33, 1-63.
Nowicki J., 1988. Zróżnicowanie uprawy podstawowej na glebie średniej i ciężkiej. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 356, 195–203.
Nowicki J., Marks M., 1994. Stan aktualny i perspektywy produkcji zbóż w Polsce. Fragm. Agron., 2, 8-18.
Nowiński M., 1970. Dzieje upraw i roślin uprawnych. PWRiL Warszawa, 332-338.
Noworolnik K., 2007. Podstawy optymalnych technologii produkcji zbóż. Post. Nauk Roln., 1, 23-30.
Oenema O., Postma R., 2003. Managing sulphur in agroecosystems. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 45-70.
Orlik T., Klima H., 2000. Efektywność energetyczna uprawy roślin w płodozmianie w zależności od położenia w rzeźbie terenu i nawożenia. Annales UMCS, E, 55, 21, 195-203.
Ortiz-CaÑavate J., Hermanz J.L., 1999. Energy analysis. In: CIGR Handbook of agricultural. T. V. Energy and Biomass Engineering., ASE, 13-24.

Orzech K., Marks M., Nowicki J., 2004. Energetyczna ocena trzech sposobów uprawy roli na glebie średniej. Annales UMCS, E, 59, 3, 1275-2014.
Orzech K., Nowicki J., Marks M., 2003. Znaczenie uprawy roli w kształtowaniu środowiska. Post. Nauk Roln., 1, 131–144.
Ostrowska A., Gawlinski S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
Pałys E., 1998. Wpływ sposobów zwalczania perzu właściwego na zachwaszczenie łanu ziemniaka na rędzinie. Annales UMCS, E, 53, 7, 51-70.
Panek K., 1993. Opady. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa-Wrocław, 149-193.
Parylak D., Kordas L., Sebzda J., 1997. Produkcyjność i efektywność energetyczno-ekonomiczna specjalistycznych zmianowań zbożowych na gleie lekkiej. Fragm. Agron., 3, 48-55.
Pavlista A.D., 1995. Kontrolle des Kartoffelschorfes mit Schwefel und Ammoniumsulfat. Kartoffelbau, 46, 154-157.
Pawlak J., 1998. Energia. W: Encyklopedia agrobiznesu. Red. A. Woś Fundacja Innowacja, Warszawa, 183-186.
Pawlak J., 2007. Nakłady i koszty energii w rolnictwie polskim. Probl. Inż. Roln., 4, 15-20.
Pedersen C.A., Knudsen L., Schnug E., 1998. Sulphur fertilisation. In: Sulphur in Agroecosystems (Eds E. Schnug, H. Beringer). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 115-134.
Pickny J., Grocholl J., 2002. Kartoffelschorf-Lässt sich der Befall durch eine Schwefeldüngung vermindern? Kartoffelbau, 3, 53, 76-78.
Piech M., Stankowski S., 1986. Wpływ terminu siewu i poziomu nawożenia azotem na plon i jakość ziarna dwóch odmian pszenżyta na glebie lekkiej. Cz. I. Plon ziarna i komponenty plonu. Biul. IHAiR, 159, 15-25.
Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M., 2003. Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu polowym. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 169-179.
Pomykalska A., 1986. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na zachwaszczenie i plonowanie. Cz. II. Plonowanie ziemniaka. Annales UMCS. E, 41, 4, 35-43.
Potarzycki J., 2003. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. I. Plon i jakość ziarna. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 180-192.
Pudełko J., Wright D.L., Wiatrak P., 1994. Stosowanie ograniczeń w uprawie roli w Stanach Zjednoczonych AP. Post. Nauk Roln., 1, 153-162.
Puła J., Skowera B., 2004. Zmienność cech jakościowych bulw ziemniaka odmiany Mila uprawianego na glebie lekkiej w zależności od warunków pogodowych. Acta Agrophysica, 3, 2, 359-366.
Przybylski Z., 2001. Problemy ochrony roślin wystepujące w agrocenozach zanieczyszczonych związkami siarki. Post. Nauk Roln., 2, 39-47.
Putz B., 1997. Die Geschichte der Kartoffel. Kartoffelbau. 48, 3, 118-120.
Radecki A., 1986. Studia nad możliwością zastosowania siewu bezpośredniego na czarnych ziemiach właściwych. Zesz. Nauk. SGGW. Rozpr. Nauk. 56, 1-86.
Rembeza J., 1993. Czynniki wzrostu plonów ziemniaków w gospodarstwach indywidualnych. Rocz. Nauk. Rol. G, 86, 2, 56-62.
Rembeza J., Chotkowski J., 1995. Opłacalność produkcji ziemniaków na różne kierunki użytkowania. CDiER Poznań.
Rembeza J., 2002. Czynniki kształtujące opłacalność produkcji ziemniaków skrobiowych. W: Ekonomika i technologia produkcji ziemniaków skrobiowych. Red. J.Chotkowski. Wieś Jutra, Warszawa, 54-60.

Rocznik Statystyczny Ochrony Środowiska, GUS Warszawa, 2010.
Roszak W., 1997. Ogólna uprawa roli i roślin. PWN, Warszawa, 119-132.
Roztropowicz S., (red.) 1999. Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakami. IHAR Jadwisin.
Różyło K., Pałys E., 2007. Wpływ systemów nawożenia na zachwaszczenie ziemniaka jadalnego uprawianego na glebie lekkiej i ciężkiej. Annales UMCS, E, 62, 1, 131-140.
Rudnicki F., Kotwica K., 1993. Reakcja pszenżyta jarego na gęstość siewu i ilość opadów. Fragm. Agron. 1, 24-31.
Rudnicki F., Jaskulski W., Kotwica K., 1997. Zależność plonu pszenżyta jarego od gęstości siewu i ilości opadów. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 175, Roln. 65, 379–385.
Runowska-Hryńczuk B., 1992. Przydatność wskaźników aktywności biologicznej gleby do oceny stanu jej żyzności. Pam. Puł., 100, 187-200.
Rykaczewska K., 1989. Wielkość bulw w plonie kilku odmian ziemniaka jako reakcja na skład mechaniczny gleby. Biul. Inst. Ziemn., 39, 57-64.
Sachajko J., 2010. Ocena produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna uprawy ziemniaka oraz pszenżyta jarego w warunkach zróżnicowanej agrotechniki. Praca doktorska. Maszynopis, AR Lublin.
Salac I., 2005. Influence of sulphur and nitrogen supply on S metabolites involved in the Sulphur Induced Resistance (SIR) of *Brassica napus* L. Landbauvorschung Voelkenrode. Sonderheft 277.
Samborski A., 1995. Agrometeorologiczna charakterystyka okolic Zamościa w latach 1981-1990 na tle wartości z lat 1951-1975. Konf. Nauk. „Gleby i klimat Lubelszczyzny". Lublin 25.04.1994, 175-181.
Sarkar S., Mondal S.S., Maiti P.K., Chatterjee B.N., 1994. Sulphur nutrition of crops with and without organic manures under intensive cropping. Indian J.Agric. Sci., 64, 2, 88-92.
Sas-Piotrowska B., 1974. Wpływ środowiska na zawartość białka w ziemniaku. Z Prac Inst. Ziemn., 7, 3-18.
Sawicka B., Pszczółkowski P., 2003. Próby ograniczenia zachwaszczenia łanu ziemniaka w uprawie pod osłonami. Cz. III. Wpływ zachwaszczenia łanu na plon ogólny i handlowy bulw. Biul. IHAR, 228, 233-247.
Sawicka B., Pszczółkowski P., 2004. Fenotypowa zmienność struktury plonu odmian ziemniaka w warunkach środkowo-wschodniej Polski. Biul. IHiAR, 232, 53-66.
Schnug E., Ceynova J., 1990. Phytopathological aspects of glucosinolates in oilseed rape. J. Agron. Crop Sci., 165, 319-328.
Schnug E., Haneklaus S., Murphy D., 1994. Equifertiles – an innovative concept for efficient sampling in the local resource management of agricultural soils. Aspects of Applied Biology, 37, 63-72.
Schnug E., Haneklaus S., 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In: Sulphur in Agroecosystems (Eds E. Schnug, H. Beringer). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1-38.
Schnug E., Gaj R., Haneklaus S., 2003. Wizualne objawy niedoborów siarki u głównych roślin uprawy polowej. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 78-91.
Sienkiewicz J., 1981. Efektywność zabiegów agromelioracyjnych na różnych glebach. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 227, 241-254.
Singh J.P., Srivastava O.P., 1993. Irrigation water as a source of sulphur and its critical con- centration for potato (*Solanum tuberosum*) crop. Indian J. Agric. Sci., 63, 4, 237-239.
Singh J.P., Marwaha R.S., Srivastava O.P., 1995. Processing and nutritive qualities of potato tubers as affected by fertilizer nutrient and sulphur application. J.Indian Potato Assoc., 22, 1-2, 32-37.
Siuta J., Rejman-Czajkowska A., 1980. Siarka w biosferze. PWRiL, Warszawa.

Smagacz J., 1999. Znaczenie pszenżyta w warunkach dużego udziału zbóż w strukturze zasiewów. Pam. Puł., 114, 325–334.
Sommer C., 1998. Konsiervierende Bodenbearbeitung- ein Konzept zur Losung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Landbauforschung Volkenrode. Sonderheft 191, 127 ss.
Spiess E., 1994. Mulchverfahren auch im Kartoffelbau? Agrarforschung, 1, 6, 287-289.
Spiess E., Heusser J., 1995. Beetanbau: Eine Alternative im Kartoffelbau? Teil 1. Kartoffelbau, 46, 2, 45-49.
Starck Z., 2002. Rola składników mineralnych w roślinie. W. Fizjologia roślin. Red. J. Kopcewicz i S. Lewak S. PWN Warszawa, 228-239.
Stankiewicz Cz., 2004. Plon i zawartość białka ogółem oraz skrobi w ziarnie pszenżyta jarego odmiany Wanad w zależności od gęstości wysiewu, herbicydów i bronowania. Acta Sci. Pol., Agric., 3, 2, 77-88.
Stankowski S., 1994. Reakcja pszenżyta jarego na termin siewu, ilość wysiewu, rozstawę rzędów i głębokość siewu w uprawie na glebie lekkiej. Rozprawa 159, AR Szczecin.
Starczewski J., Droese H., Śmierzchalski L., 1984. Wpływ uprawy roli i zagęszczenia gleby na plon ziemniaków. Rocz. Nauk Roln., A. 106, 1, 65-81.
Starczewski J., Korsak M., Skrzyczyński T., 1995. Wpływ przedsiewnej uprawy roli na plonowanie pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. WSR-P Siedlce, Roln., 39, 7-13.
Starczewski J., Turska E., 1998. Wpływ przedplonu i nawożenia organicznego na plon bulw ziemniaka uprawianego w płodozmianach o różnym stopniu wysycenia tą rośliną. Rocz. Nauk Roln., A, 113, 1-2, 121-132.
Starczewski J., Czarnocki Sz., 2004. Sposób uprawy roli a zachwaszczenie i plonowanie pszenżyta. Acta Sci. Pol., Agric., 3, 2, 69-76.
Stępień A., Nasalski Z., 2006. Energetyczna efektywność różnych sposobów nawożenia buraka cukrowego. Fragm. Agron., 3, 180–187.
Sud K.C., Sharma R.C., Verma B.C., 1996. Evaluation of levels and sources of sulphur on potato nutrition in Shimla hills. – J. Indian Potato Assoc., 23, 3-4, 134-138.
Świętochowski B., Sienkiewicz J., 1970. Badania nad wpływem zespołu uprawek pożniwnych na plony roślin na glebach średnich i ciężkich. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 99, 149-163.
Szeptycki A., 2003. Technologie zbioru ziemniaków – ocean ekonomiczna i energetyczna. Wieś Jutra, 2, 55, 18-20.
Szeptycki A., Wójcicki Z., 2008. Prognoza wykorzystania energii elektrycznej w rolnictwie i na pozostałych obszarach wiejskich. www. http. manhaz. cyf. gov. pl.
Tabatabai M.A. (red)., 1986. Sulphur in agriculture. American Society of Agronomy. Madison, WI.
Tarkowski Cz., 1989. Biologia pszenżyta. PWN Warszawa.
Terelak H., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz., 2002. Monitoring chemizmu gleb ornych Polski. Program badań i wyniki 1995 i 2000. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 146 ss.
Toboła P., Jakubus M., 2003. Ocena wartości nawozowej gipsu oraz siarczanu amonu jako źródeł siarki dla rzepaku. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4, 17, 56-63.
Trętowski J., Wójcik A.R., 1988. Metodyka doświadczeń rolniczych. WSRP Siedlce. 124-215.
Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A., 1992. Systematyka gleb Polski. AR Lublin, 25-31.
Ukalski J.,Niedziółka I., 1999. Ocena energetyczno-ekonomiczna produkcji ziarna kukurydzy w gospodarstwach rodzinnych. Annales UMCS, E, 54, 25, 206-210.
Verkleij J.A.C., Sneller F.E.C., Schat H., 2003. Metallothioneins and phytochelatins: ecophysiological aspects. In: Sulphur in plants (Eds Y. P. Abrol, A. Ahmad A). Kluwer Academic Publ., Dordrecht: 163-176.

Verlinden G., 2002. Sulfur dynamics in Belgian agricultural soils. Dissertationes de Agricultura, 506, Katholieke Universiteit Leuven, 1-172.

Wesołowski M., Bujak K., Jędruszczak M., 1996. Zróżnicowane systemy uprawy roli na stoku, a zachwaszczenie roślin w 4-polowym płodozmianie. Ogólnop. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją". IUNG, AR, UMCS, Puławy, 133-143.

Wielicki W., 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. Post. Nauk Roln., 1, 69 -86.

Wielicki W., 1990. Energochłonność produkcji roślinnej. Studium międzynarodowe. Służba Roln., 1, 2, 1-6.

Witzenberger A., Van den Boom, Hack H., 1989. Erlaeuterungen zum BBCH-Dezimal-Code fuer die Entwicklungesstadies des Getreides, mit Abbildungen. Gesundes Pflanzen, 41, 384-388.

Włodek S., Kukuła S., Pabin J., Biskupski A., Kaus A., 1998. Zmiany gęstości, zwięzłości i wilgotności gleby powodowane różnymi sposobami uprawy roli. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 460, 413-420.

Włodek S., Pabin J., Biskupski A., Kaus A., 1999. Skutki uproszczeń uprawy roli w zmianowaniu. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 195, 39-45.

Wojcieska U., Gontarczuk W.A., 1989. Fizjologia pszenżyta. W: Biologia pszenżyta. Red. Cz. Tarkowski. PWN Warszawa, 57-98.

Wójcicki Z., 1981. Energochłonność produkcji rolniczej. Rocz. Nauk Roln., C, 75, 1, 85-98.

Wójcicki Z., 2000. Wyposażenie techniczne i nakłady materiałowo-energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych, IBMER, Warszawa.

Wójcicki Z., 2004. Kierunki przemian na wsi, w rolnictwie i technice rolniczej do roku 2030. Prace Nauk. IBMER, 1, 7.

Wójcicki Z., 2005. Metodyczne problemy badania energochłonności produkcji rolniczej. Probl. Inż. Roln., 1, 47, 5-12.

Wójcicki Z., 2008. Postęp technologiczny i energochłonność produkcji rolniczej w Polsce. www. http. ekrol. sggw. waw.pl.

Wróbel E., Budzyński W., 1994. Porównanie różnych technologii uprawy pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. AR Szczecin, Roln., 58,162, 293-296.

Zalewski A. (red.), 2009. Analizy rynkowe. Rynek środków produkcji i usług dla rolnictwa. MRiRW, ARR, IERiGŻ, Warszawa, 2009.

Zarzecka K., 1997. Wpływ pielęgnacji na zachwaszczenie, wysokość i jakość plonu bulw ziemniaka. WSRP Siedlce, Rozprawa 49.

Zarzecka K., Gugała M., 2004. Kształtowanie się zachwaszczenia odmian ziemniaka w zależności od sposobu pielęgnacji. Biul. IHAR, 232, 177-184.

Zarzecka K., 2008. Ekonomiczna efektywność zabiegów agrotechnicznych jako kryterium konkurencyjności w uprawie ziemniaka jadalnego. SERIA, Rocz. Nauk., 3, 587-590

Zhao F.J., Withers P.J.A., Evans E.J., Monaghan J.M., Salmon S.E., Shewry, McGrath S., 1997. Sulphur nutrition: an important factor for the quality of wheat and rapeseed. Plant nutrition - for sustainable food production and environment, 917-922.

Zimny L., 1999. Uprawa konserwująca. Post. Nauk Roln., 5, 99, 41-51.

Żurawski H., Sienkiewicz J., Jabłoński W., 1986. Wpływ uproszczeń w uprawie roli i zróżnicowanego nawożenia na plony roślin i pobranie składników pokarmowych (III rotacja zmianowania, 1970-1982). Pam. Puł., 86, 115-130.

9. STRESZCZENIE

Nowoczesne technologie produkcji roślinnej powinny dążyć do optymalizacji nakładów energii ponoszonych na uprawę roli. W uzasadnionych przypadkach można spłycać uprawę roli lub redukować zabiegi uprawowe. Liczne badania dowodzą, że ziemniak i zboża powinny być nawożone siarką. W większości gleb Polski użytkowanych rolniczo ilość siarki siarczanowej (przyswajalnej) nie przekracza 25 $mg \cdot kg^{-1}$ gleby i tym samym nie pokrywa zapotrzebowania roślin na ten pierwiastek. Ponieważ brak jest opracowań nad wpływem technologii uwzględniającej nawożenie siarką na efekty produkcyjne (plon) oraz efektywność ekonomiczną i energetyczną produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego podjęto stosowne badania.

W latach 2006-2009 przeprowadzono dwa trzyletnie eksperymenty polowe z uprawą ziemniaka (odmiany Irga) i pszenżyta jarego (Wanad) w warunkach stosowania tradycyjnej i uproszczonej uprawy roli (bez orki przedzimowej) oraz nawożenia mineralnego NPK i NPK + S. Siarkę siarczanową w dawce 50 kg $S \cdot ha^{-1}$ (siarczan potasu) stosowano pod ziemniaka i 40 kg $S \cdot ha^{-1}$ (siarczan amonu) pod pszenżyto jare.

Doświadczenia polowe przeprowadzono na glebie brunatnej wyługowanej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego pylastego (cz. spław. 13%), zaliczonej do kompleksu żytniego dobrego o odczynie lekko kwaśnym. Zawartość fosforu i potasu była średnia a magnezu i siarki niska. Oba eksperymenty przeprowadzono metodą podbloków losowanych w układzie zależnym split-plot w czterech powtórzeniach.

Najkorzystniejszy wpływ na plon i jakość bulw ziemniaka (zawartość i plon skrobi, białka ogólnego oraz zawartość siarki i azotu ogólnego) oraz plon i jakość ziarna pszenżyta jarego wywierała tradycyjna uprawa roli i nawożenie siarką. Tradycyjna uprawa i nawożenie siarką wpływały korzystnie na plon bulw frakcji większych (powyżej 50 mm), natomiast uprawa uproszczona i nawożenie NPK sprzyjało rozwojowi bulw frakcji pośrednich, co może być wykorzystane w produkcji bulw handlowych lub sadzeniaków. Stosowanie tradycyjnej uprawy roli i nawożenia NPK + S pod ziemniaka i pszenżyto jare było ekonomicznie uzasadnione, bowiem uzyskiwano najkorzystniejszą nadwyżkę bezpośrednią i najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej. Na wielkość nadwyżki bezpośredniej, oprócz czynników agrotechnicznych, znaczący wpływ miały ceny zbytu ziemiopłodów i dopłaty bezpośrednie. W strukturze bezpośrednich kosztów produkcji i nakładów energetycznych obu roślin największy udział miały zbiór i transport, sadzeniaki, nasiona i nawozy mineralne. Natomiast udział uprawy roli w nakła-

dach i kosztach produkcji był relatywnie mały. Stosowanie w produkcji ziemniaka i pszenżyta jarego uproszczonej uprawy roli może być uzasadnione ze względów organizacyjnych.

Słowa kluczowe: uprawa roli, nawożenie mineralne, siarka, ziemniak, pszenżyto jare

10. SUMMARY

COMPREHENSIVE EVALUATION OF POTATO AND SPRING TRITICALE CULTIVATION TECHNOLOGY

Modern technologies of production of crops should strive to optimise energy expenditure incurred for the cultivation of the soil. In justified cases, one can use the plate or reduce the soil treatments. Numerous studies show that potatoes and cereals should be fertilised with sulphur. In most of the Polish soils under agricultural use the quantity of sulphate sulphur does not exceed 25 mg kg^{-1} of soil and thus does not cover the demand of plants for this element. Because there are no studies on the impact of technology taking into account the effects of sulphur fertilisers on the production effects (yield) and on the economic viability and energy effectiveness of the production of potatoes and spring Triticale, appropriate studies have been undertaken.

In the years 2006-2009, two three-year field experiments were conducted, involving the cultivation of potatoes (variety Irga) and spring Triticale (Vanad) under the conditions of the traditional and simplified cultivation of soil (without pre-wniter ploughing), and with mineral NPK and NPK + S fertilisation. Sulphate sulphur at the dose of 50 kg S ha^{-1} (potassium sulphate) was applied under potatoes and 40 kg S ha^{-1} (ammonium sulphate) under spring Triticale. The experiments were carried out on a leached brown earth with loamy silty soil texture (clay – 13%), classified in the good rye-complex soil. Reaction of the soil was 5.2. The levels of phosphorus and potassium were average, and the content of magnesium and sulphur – low. The field experiments were conducted in a split plot design with four replications.

The traditional cultivation with sulphur fertilisation had the best effect on the yield and quality of potato tubers (content and yield of starch, total protein and the content of sulphur and total nitrogen) and on the yield and quality of the grain of spring Triticale. The traditional cultivation and sulphur fertilisation had a favaourable effect on the yield of the largest fractions of tubers (above 50 mm), while simplified soil tillage and NPK fertilisation favoured the development of

the intermediate fractions, which may be used in the production of comercial tubers or seed potatoes. The use of traditional cultivation of soil and NPK + S fertilisation under potatoes and spring Triticale was economically justified, as it permitted the the best direct surplus and the highest energy efficiency index. The size of the direct surplus, in addition to the agrotechnical factors, was significantly influenced by the seling prices of crops and the direct payments. In the structure of the direct costs of production and energy input of both crop plants the largest share was that of harvesting and transport, seed potatoes, seeds and mineral fertilisers. Whereas, the share of soil cultivation in the costs of production was relatively small. The application of simplified soil tillage in potato and spring Triticale production may be justified for reasons of organisation.

Keywords: soil tillage, mineral fertilisers, sulphur, potatoes, spring Triticale

Adresy Autorów:

Hanna Klikocka
Jarosław Sachajko

Zakład Ogólnej Uprawy Roli i Roślin
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Szczebrzeska 102, 22-400 Zamość
e-mail: Hanna.klikocka@up.lublin.pl

Address of Authors:

Faculty of Soil Cultivation and Plant Production
University of Life Sciences in Lublin
ul. Szczebrzeska 102, 22-400 Zamość
e-mail: hanna.klikocka@up.lublin.pl