

HELENA DZIADOWIEC
Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu

PRZEMIANY W GLEBIE SŁOMY ZBÓŻ STOSOWANEJ JAKO NAWÓZ ORGANICZNY I JEJ AGROEKOLOGICZNE DZIAŁANIE *

Rozszerzenie areału uprawy zbóż, przejście na obory bezściółkowe, kombajnowy zbiór zbóż spowodowały, że słoma stała się uciążliwym produktem odpadowym rolnictwa, produktem, którego zagospodarowanie wymaga nakładów finansowych i energetycznych obciążających gospodarstwa rolne [12, 30, 40, 45]. Problem ten wywołał nasilenie prac badawczych mających na celu wskazanie możliwości korzystnego pod względem ekonomicznym zagospodarowania słomy. Proponuje się między innymi wykorzystanie tego materiału jako paszy dla zwierząt, materiału dla przemysłu chemicznego, surowca dla produkcji papieru, podłoża dla hodowli grzybów jadalnych i in. [14, 47, 69, 84].

Główne jednak badania idą w kierunku wykorzystania słomy bezpośrednio w polu jako nawozu. Jest to kierunek najbardziej obiecujący z ekonomicznego punktu widzenia, nie wymaga bowiem dodatkowych nakładów na zbiór, transport, magazynowanie czy też przetwarzanie słomy. W związku z tym wzrosła liczba prac zajmujących się przekształcaniem słomy w glebie, dynamiką jej rozkładu, czynnikami modyfikującymi ten proces, wpływem wprowadzonej do gleby słomy na właściwości gleby i produkcję roślinną.

Stosowane metody badawcze

Badania nad rozkładem słomy w glebie prowadzi się zarówno w warunkach polowych jak i laboratoryjnych. Najprostszą z metod polowych jest obserwowanie słomy pozostawionej po żniwach na powierzchni gleby [54] i notowanie zachodzących w niej zmian.

W metodzie tej można stosować różne warianty jak pozostawianie słomy na pokosach lub równomierne jej rozesłanie na całej powierzchni, pozostawienie ździebeł naturalnej długości lub pocięcie słomy na siecz-

*) Opracowanie przygotowano w ramach podprogramu CPBP 04. 10. 03.

kę, dodanie do słomy różnych składników jak nawozy mineralne, gnojowica i inne.

Częściej jednak badania prowadzi się metodą worków z włókna szklanego lub tworzywa sztucznego, w którym umieszcza się słomę o znanej masie. Pobierając co pewien czas po kilka z wyłożonych w polu próbek śledzi się ubytki masy jako funkcję czasu [6, 16, 65, 66]. Worki, w zależności od wybranego wariantu metody, układa się na powierzchni lub zakopuje w glebie na różnej głębokości, uzupełnia nawozami mineralnymi lub organicznymi (gnojowica, nawozy zielone) czy też wypełnia słomą o różnej długości źdźbła.

Badania laboratoryjne prowadzone są najczęściej w cieplarkach, w kontrolowanych warunkach temperatury i wilgotności: zwykle 20—25°C i 60% polowej pojemności wodnej. Pojemnik z mieszaniną słomy i gleby, w ściśle określonych proporcjach, umieszcza się w cieplarce i bada dynamikę uwalniania CO₂ lub ilość węgla pozostającą w glebie [3, 7, 43, 53, 56, 60, 59, 67, 68, 79].

W warunkach laboratoryjnych o dynamice rozkładu słomy wnioskuje się również z przebiegu mineralizacji azotu [3, 15, 75] i zmian niektórych właściwości fizycznych [15, 18, 21]. Harris i in. [21] wykazali na przykład, że istnieje korelacja między siłą potrzebną do cięcia słomy a stratami masy ($r = 0,77$). Zdaniem autorów metoda ta jest obiecująca, gdyż pozwala na inkubowanie słomy w polu bez worków. Z krytycznej oceny Grossbarda [15] wynika, że wszystkie omówione wyżej metody mają swoje wady i zalety, a uzyskane za ich pomocą rezultaty mogą się różnić znacznie między sobą. Należy o tym pamiętać przy porównywaniu i interpretacji wyników.

Metoda worków stwarza możliwość uzyskania bezpośrednich informacji o dynamice rozkładu słomy, lecz z drugiej strony izoluje ona słomę od mezofauny glebowej i nie izoluje w dostateczny sposób od mineralnego materiału glebowego, co w pierwszym przypadku wpływa na zwolnienie procesu rozkładu [1], a w drugim ogromnie utrudnia ustalenie masy pozostałości.

Doświadczenia laboratoryjne umożliwiają śledzenie procesu rozkładu materiału roślinnego w warunkach modelowych oraz wpływu zmiennych parametrów, jak temperatura i wilgotność na jego przebieg. Jednakże tempo rozkładu słomy uzyskane z pomiarów wydzielanego CO₂ jest często zawyżone. Sørensen [62] zwraca uwagę na fakt, że dodanie do gleby świeżego materiału organicznego stymuluje rozkład rodzimej materii organicznej, a tym samym wydzielanie CO₂. W ten sposób może się uwolnić z gleby nawet o 55% i więcej CO₂ niż z gleby kontrolnej. Pomiaru pozostałości węgla dają z kolei rezultaty zbyt niskie, gdyż uwzględniają cały węgiel glebowy, również i ten, który w wyniku przemian zachodzą-

cych w glebie znajduje się w zupełnie innych związkach, niż pierwotnie w słomie [38]. Ponadto w warunkach laboratoryjnych ograniczona objętość gleby i ilość składników popielnych mogą stać się czynnikami hamującymi rozkład. Z tych też przyczyn w warunkach laboratoryjnych prowadzi się badania głównie nad początkowymi etapami rozkładu, zwykle około 100—150 dni.

W warunkach polowych czynnikami hamującymi rozkład są przede wszystkim temperatura i wilgotność [6]. Dlatego też przeniesienie rezultatów uzyskanych w warunkach laboratoryjnych na warunki polowe jest często niemożliwe.

Według Van Veena i Paula [cyt. za 65] szybkość rozkładu w polu może wynosić od 0,1 do 0,5 tej szybkości jaką uzyskuje się w warunkach laboratoryjnych.

Mineralizacja azotu nie może być miernikiem szybkości rozkładu słomy. Porównawcze badania Belaua [3] wykazały, że oba te procesy przebiegają inaczej i wykazują różną wrażliwość na warunki pogodowe oraz dodawane do rozkładającej się słomy substancje organiczne i mineralne. Badanie właściwości fizycznych rozkładającej się słomy może natomiast stanowić jedynie metodę pomocniczą, gdyż zależność niektórych właściwości fizycznych od stopnia rozkładu utrzymuje się do momentu rozkładu 60% materiału. Po osiągnięciu takiego stanu; właściwości fizyczne słomy ulegają gwałtownej zmianie nie korelującej ze stopniem degradacji [18].

Równocześnie niektórzy autorzy [59, 65] przestrzegają przed próbami wizualnej oceny rozkładu słomy. Stwierdzili oni mianowicie, że mimo znacznych ubytków masy (44% — Smith i Douglas, 50% — Schröder) barwa i struktura słomy nie uległa zmianie. Wszelkie więc próby wizualnego szacunku prowadziły do poważnych błędów.

Od kilkunastu lat coraz częściej do badań nad rozkładem słomy, zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i polowych stosuje się słomę znakowaną radiowęglem ^{14}C [7, 26, 27, 50, 51, 52, 57, 63, 67]. Metoda ta umożliwia wyróżnienie przemian słomy na tle przekształceń rodzimej materii organicznej gleby i obserwację rzeczywistych losów poszczególnych grup związków organicznych wchodzących w skład słomy.

Dynamika rozkładu słomy różnych zbóż

Dynamikę rozkładu słomy zbożowej warunkują z jednej strony jej właściwości chemiczne z drugiej zaś warunki glebowo-klimatyczne. Słoma zbożowa zawiera znaczne ilości celulozy i hemicelulozy (tabela 1a), stanowi więc źródło łatwo dostępnego węgla i wpływa stymulująco na

Tabela 1a.

Skład chemiczny resztek poźniwnych różnych gatunków zbóż (% suchej bezpopielnej masy)

Gatunek zboża i rodzaj materiału	Hemi-celulo-za	Celu-loza	Pento-zany	Lignina	Białka	Tłusz-cze i ży-wice	Pozycja litera-tury
Różne zboża							
-słoma	18—30	32—40	12	12—15	2	2	[74]
Żyto — słoma	—	42 ^x	26	22 ^x	1 ^x	—	[43]
Żyto — słoma	—	43 ^x	22	20 ^x	—	—	[53]
Jęczmień- -słoma	21 ^x	33 ^x	—	19 ^x	4 ^x	—	[33]
Jęczmień- -słoma	39	40	—	13	1	1	[38]
Jęczmień- słoma i korzenie	19 ^x	38 ^x	—	23 ^x	9 ^x	—	[68]
Owies — słoma	21 ^x	35 ^x	—	20 ^x	5 ^x	—	[33]
Owies — słoma	32	40	—	17	2	1	[38]
Pszenica- -słoma	22 ^x	34 ^x	—	21 ^x	3	—	[33]
Pszenica- -słoma	36	43	—	14	1	3	[38]
Pszenica- -słoma i korzenie	23 ^x	43 ^x	—	27 ^x	4 ^x	—	[68]
Kukurydza- -słoma	31	18	—	19	5	2	[75]

*) Podane przez autorów wartości zaokrąglono do liczb całkowitych.

rozwój mikroorganizmów [24, 33]). Dlatego zdaniem wielu autorów słoma w glebach rozkładana jest bardzo szybko [6, 70, 72].

Z drugiej jednak strony słoma zbożowa charakteryzuje się niewielką zawartością azotu i szerokim stosunkiem C:N (tabela 1b).

Stosunek węgla do azotu w słomie wynosi 55—100:1, a rozkład bez zahamowań może przebiegać w materiale, w którym C/N wynosi 20—30:1 [33]. Zawarty w słomie azot nie pokrywa zapotrzebowania mikroorganizmów na ten pierwiastek i może, szczególnie w warunkach laboratoryjnych, stać się czynnikiem ograniczającym dynamikę rozkładu słomy.

Czynnikiem ograniczającym może być również zbyt mała zawartość fosforu w słomie. Kaila [cyt. za 33] podaje, że materiał roślinny bez przeszkód rozkłada się przy C:P niższym od 100—150:1. Stosunek ten w słomie zbożowej przy przeciętnej zawartości fosforu 0,1% (tabela 1b) wynosi 350—400:1.

Tabela 1b.

Skład chemiczny resztek poźniowych różnych gatunków zbóż
(w % suchej masy)

Gatunek zboża i rodzaj materiału	C	N	C/N	P	K	Zawar- tość popiołu	Pozycje litera- tury
Zyto- -słoma	—	0,49	—	0,11	0,83	4,1	[33]
Zyto-słoma	—	0,55	71,2	0,17	—	—	[53]
Jęczmień — — słoma	—	0,56	—	0,09	1,16	5,5	[33]
Jęczmień — — słoma i korze- nie	37,5	1,47	—	—	—	—	[68]
Jęczmień — —słoma i korze- nie	42,3	0,50	85	0,078	0,53	—	[64]
Owies — słoma	—	0,7	51	0,31	1,25	—	[48]
Owies — słoma	—	0,61	—	0,13	1,66	5,7	[33]
Pszenica — — słoma	—	0,48	—	0,08	0,83	4,8	[33]
Pszenica — — słoma	41,2	0,51	—	—	—	—	[56]
Pszenica — — słoma	—	0,26	—	0,22	—	—	[63]
Pszenica — — słoma i korze- nie	39,4	0,69	—	—	—	—	[68]
Pszenica — — słoma i korze- nie	42,0	0,55	76	0,074	0,43	—	[64]

Inne składniki mineralne, ze względu na wysoką popielność słomy, wynoszącą od 5 do 10 a nawet 15% (tabela 1b), występują w słomie w dostatecznej ilości i nie wpływają ograniczająco na jej rozkład [33].

W warunkach laboratoryjnych słoma zaczyna rozkładać się natychmiast po wprowadzeniu do gleby. Świadczą o tym różnice między ilością wydzielonego CO₂ z próbek glebowych ze słomą i bez słomy notowane od pierwszego dnia badań [3, 59]. Proces ten przebiega początkowo szybko, a po rozłożeniu 40—50% materiału wolniej i wg Oberländera i Rotha [51] mniej więcej ze stałą szybkością.

W laboratoryjnych badaniach Myśkowa [48] w ciągu 120 dni rozkładowi uległo 79% sproszkowanej słomy owsianej wymieszanej z wyprazonym piaskiem. Sørensen [67] w badaniach trwających 96 dni odnotował ubytki wynoszące od 35 do 45% węgla zawartego w słomie jęczmiennej. Według Schrödera [59] rozkład słomy pszenicy w ciągu 100 dni wynosi od 41 do 64%, a w badaniach Grossbarda i Harrisa [16] w ciągu 140 dni 48%. Cheshire i wsp. [7] inkubując słomę żytnią przez 112 dni zaobserwowali straty wynoszące 41% materiału wyjściowego.

Przytoczone rezultaty są dość rozbieżne, gdyż przewidują średnie tempo rozkładu od 0,23 do 0,66% materiału wyjściowego w ciągu jednego dnia. Rozbieżności te wynikają zarówno z faktu, że w badaniach wykorzystano słomę różnych gatunków zbóż, jak również z tego, że proces przebiegał w różnych warunkach temperatury i wilgotności. Myśków wykorzystał zmieloną słomę owsianą, która jest zasobniejsza w składniki pokarmowe niż słoma pszenicy; ponadto jej rozkład przebiegał w optymalnych warunkach temperatury i wilgotności. W badaniach Schrödera zdźbła słomy pszenicznej o długości 5 cm inkubowano początkowo w warunkach polowych (wrzesień, październik), a potem w laboratorium w temperaturze pokojowej. Sørensen prowadził badania w temp. 20°C, a Grossbard i Harris w temperaturze 18°C. Cheshire i wsp. stosowali w swoich badaniach zmieloną słomę żytnią i inkubowali ją w temperaturze 20 ± 2°C i wilgotności 25% wagowych.

Jeszcze mniej porównywalne wyniki uzyskuje się w badaniach polowych z powodu niemożliwości ujednoczenia warunków. Dla zilustrowania tego zjawiska przytaczam niektóre rezultaty (tab. 2).

Słoma pozostawiona na powierzchni rozkłada się bardzo wolno [6, 9, 16, 18, 46, 63]. Na przykład Grossbard i Harris [16] w ciągu 23 tygodni stwierdzili ubytki wynoszące zaledwie 6,1%, a Brown i Dickey [6] w ciągu 18 miesięcy od 27 do 37% masy wyjściowej słomy pszenicy. Przy powierzchniowym zastosowaniu słomy szybkość rozkładu może zmniejszyć się nawet 6-krotnie w porównaniu z rozkładem słomy wprowadzonej do gleby [46]. Słoma owsiana umieszczona w glebie na głębokości 10 cm po 6 tygodniach traci 35% swej masy. Takie same ubytki masy słomy na powierzchni gleby zachodzą dopiero po 9 miesiącach. Przyczyną tego zjawiska może być wysychanie materiału [46] i mała zdolność powierzchniowo zastosowanej słomy do immobilizacji azotu [9]. Cochran

Tabela 2

Rozkład słomy w glebie w warunkach polowych

Gatunek zboża	Okres badań	% ubytków masy	Pozycja literatury
Słoma pszenicy	2,5 mies.	23	[66]
	3 mies.	44	[65]
	13 mies.	64	[66]
	18 mies.	93—98	[6]
	182 dni	54	[54]
	270 dni	33—43	[64]
	1 rok	50,2—78,1	[12]
	1 rok	58	[52]
	5 lat	79	[52]
	2 mies.	36	[72]
1 rok	72	[72]	
Słoma jęczmienia	182 dni	64	[54]
	2 mies.	46	[72]
	1 rok	76	[72]
	1 rok	52,3—77,0	[12]

i in. [9] stwierdzili mianowicie, że wycieki z kolumn glebowych ze słomą umieszczoną na powierzchni mają C/N mniejsze od 10:1, a z kolumn ze słomą wymieszaną z glebą stosunek ten wynosi 56:1.

Najszybciej rozkłada się słoma wprowadzona do gleby na niewielką głębokość 5—15 cm [12, 24, 46, 58, 72, 77]. W badaniach Merchaleva i in. [46] w ciągu całego roku ubytki masy słomy pszennej umieszczonej w glebie na głębokości 10 cm były wyższe w porównaniu z ubytkami słomy umieszczonej na głębokości 30 cm. Początkowo różnica wynosiła około 4% a pod koniec roku 9%.

Istnieje również zależność między dynamiką rozkładu słomy a właściwościami gleby, w której rozkład zachodzi [56, 61] oraz ilością wprowadzonej do gleby słomy [29, 56]. Z badań Puig-Gimeneza i Chase [56] wynika, że szybkość rozkładu maleje jeśli ilość dodanej słomy przekroczy dwa lub więcej razy ilość corocznie dopływających do gleby resztek poźniwnych. Ponadto na przebieg i tempo rozkładu słomy wpływa roślina, która występuje w płodozmianie przed i po zbożu [64]. W monokulturze zbożowej rozkład przebiega najwolniej [63, 64].

Mimo wielkiego zróżnicowania cytowane wyżej dane wskazują, że słoma zbóż nie rozkłada się w glebie tak szybko jak pierwotnie przypuszczano. W doświadczeniach przeprowadzonych przez Oberländera i Rotha [52] po 5 latach pozostało w glebie jeszcze 21% słomy. Gisiger i wsp.

[cyt. za 33] stwierdzili po trzech latach pozostałość słomy w glebie wynoszącą 16⁰/₀ masy wyjściowej, a z późniejszych badań Gisigera [cyt. za 33] wynika, że po 8 latach 7⁰/₀ wprowadzonej do gleby słomy nie uległo mineralizacji. Jenkinson [27] w dziesięcioletnich badaniach nad rozkładem rajgrasu stwierdził, że około 1/8 tego materiału jest w znacznym stopniu odporna na rozkład i może pozostawać w glebie przez długi okres czasu.

Procesy rozkładu również w warunkach polowych rozpoczynają się od momentu wprowadzenia słomy do gleby. W jesieni rozkład przebiega — zależnie od pogody — z różnym nasileniem, w zimie zachodzi znacznie wolniej lecz nie zanika całkowicie [4]. Najintensywniej proces rozkładu słomy zachodzi w pierwszych dwóch miesiącach. W tym okresie rozkładowi może ulec 1/3 wprowadzonej do gleby słomy [11, 72].

Różna atrakcyjność związków chemicznych wchodzących w skład słomy wywołuje różnice w tempie ich przyswajania przez mikroorganizmy [74]. Atak mikroorganizmów na żdźbło słomy rozpoczyna się od rozkładu otaczających go wosków i tłuszczów [74]. Proces ten w glebie zachodzi zawsze dosyć wolno co jest związane z budową tych związków, rzadką obecnością lipaz i utrudnionym wnikaniem wody. Następnym etapem jest rozkład hemicelulozy i celulozy. Degradacja tych związków w porównaniu z rozkładem wosków i substancji tłuszczowych przebiega względnie szybko. Sotáková [68] stwierdziła, że w ciągu 14 początkowych dni rozkładu dzienne ubytki celulozy z resztek późniwnych jęczmienia wynosiły 0,68⁰/₀, a z resztek późniwnych pszenicy 0,38⁰/₀. Lignina rozkłada się bardzo wolno. Jednakże badanie ligniny pozostałej po rozkładzie innych składowych tkanek wykazały, że jej struktura uległa znacznym zmianom. Zanikły niektóre łańcuchy boczne jądra aromatycznego, zmniejszyła się liczba grup metoksyłowych, a wzrosła fenolowych, karboksylowych i hydroksylowych [74].

Podobną kolejność rozkładu podają w swych pracach Broadbend [5], Myśków [48]. Sørensen [67], Sotáková [68], a także liczni autorzy cytowani przez Kolbego i Stumpego [33]. Sørensen wypreparowane ze słomy jęczmiennej związki na podstawie szybkości rozkładu szereguje następująco: hemiceluloza > celuloza > substancje rozpuszczalne w wodzie > lignina. Rozkład ligniny w badaniach tego autora przebiegał wyjątkowo wolno. W ciągu 96 dni rozkładowi uległo zaledwie 4⁰/₀ tego materiału, podczas gdy w tym samym czasie ubytki hemicelulozy wynosiły 65⁰/₀. Autor uważa, że tak powolny rozkład ligniny był spowodowany drastycznymi środkami preparacji. W innych badaniach tego autora przy mniej drastycznej preparacji ligniny w ciągu 74 dni rozkładowi uległo 29⁰/₀ tego związku. W badaniach Schobingera [cyt. za 33] w ciągu 6 miesięcy lignina słomy rozłożyła się w 60⁰/₀, a celuloza w 95⁰/₀. Przez na-

stępny miesiąc nie stwierdzono żadnych zmian w zawartości ligniny. Autor uważa, że lignina rozkłada się tylko dopóty, dopóki występuje w glebie źródło łatwo dostępnego węgla.

Inne światło na szybkość rozkładu poszczególnych składowych słomy rzucają prace Zadrżila [84] i Cheshire'a i wsp. [7]. Zadrażił hodując grzyba *Pleurotus florida* na słomie pszennej stwierdził, że w ciągu 70 dni rozłożyło się 80% tego materiału. W trakcie rozkładu zawartość hemicelulozy, α -celulozy i ligniny pozostawała w takich samych proporcjach jak na początku badań, co świadczy że rozkład tych związków przebiegał z jednakową szybkością. Cheshire'a i wsp. [7] śledząc rozkład słomy żytniej znakowanej ^{14}C stwierdzili, że przez cały okres badań (1469 dni) pozostałość po rozkładzie miała mniej więcej stały skład. Część każdego z prostych związków: glukozy, ksylozy czy celulozy okazała się odporna na rozkład. Autorom wydaje się, że wzajemne powiązanie tych związków lub ich oddziaływanie z materiałami inertnymi: ligniną czy mineralnymi cząstkami glebowymi czynią je mniej dostępnymi dla mikroorganizmów i wywołują efekt stabilizujący.

Wpływ temperatury i wilgotności na przebieg rozkładu słomy

Nie budzi żadnych wątpliwości, że temperatura ma zasadniczy wpływ na przebieg procesu rozkładu słomy w glebie. Już w roku 1931 Waksman i Gerretsen [79] stwierdzili, że rozkład słomy w temperaturze 37°C przebiegał dwukrotnie szybciej niż w temperaturze 7°C. Z badań Piaseckiego [53] nad rozkładem słomy żytniej w temperaturze -2, 8 i 20°C wynika, że poniżej zera rozkład jest minimalny, podwyższenie temperatury do 8°C znacznie przyspiesza proces, a w temperaturze 20°C tempo procesu jest trzykrotnie wyższe niż w temperaturze 8°. Według Schrödera [59] temperatura ma szczególne znaczenie w początkowym okresie rozkładu. Wtedy nawet niewielkie różnice temperatury wywołują znaczne zmiany szybkości procesu. W latach 1973 i 1974 wykazał on, że wyższa temperatura września i października w roku 1973, średnio o 2° w porównaniu z rokiem 1974, spowodowała wzrost szybkości rozkładu słomy pszenicy o 3—10%.

Optymalna temperatura dla szybkości procesów przekształcenia azotu w rozkładającej się słomie kukurydzy i w innych materiałach roślinnych wynosi 25°C, w temperaturze 3 i 7° przemiany azotu zachodzą znacznie wolniej, ale nawet w temperaturze -2° nie ustają całkowicie [75].

Niemniej ważnym czynnikiem wpływającym na procesy rozkładu słomy w glebie jest wilgotność. Dodatni wpływ podwyższenia wilgotności z 60 do 80% pojemności wodnej na procesy rozkładu słomy odnoto-

wali między innymi Waksman i Geretsen [79] oraz Schröder [59]. Ten ostatni stwierdził, że przy wilgotności 60% w ciągu 100 dni rozkładowi uległo 45%, a przy wilgotności 80% — 65% słomy pszenicy. Z badań Puig-Gimeneza i Chase'a [56] wynika, że tempo wydzielania CO₂ z rozkładającej się słomy pszenicy było niższe w każdym terminie pomiarów, w próbkach o wilgotności 45%, niż w próbkach o wilgotności 60%. W warunkach polowych w różnych sezonach roku różny jest wpływ temperatury i wilgotności na rozkład słomy [4]. W zimie i wiosną tempo tego procesu zależy głównie od temperatury, a latem i jesienią znaczną rolę odgrywa zawartość wody w glebie. Heintze [22] podaje na przykład, że w okresie suchej jesieni rozkłada się mniej niż 30%, w okresie jesieni wilgotnej 40—60% wprowadzonej do gleby słomy. Czynnikiem sprzyjającym rozkładowi jest wilgotność samej słomy. W badaniach Kubisty i Honsa [35] przyoranie suchej słomy prowadziło do wysuszenia gleby. Słoma wilgotna nawet w glebie suchej zachowywała wilgoć przez dłuższy okres i stanowiła źródło wody dla rozkładających ją mikroorganizmów.

Zależność rozkładu słomy od temperatury i wilgotności jest szczególnie dobrze widoczna w warunkach laboratoryjnych. W warunkach polowych przebieg procesów rozkładu nie zawsze zachodzi zgodnie z warunkami pogodowymi [54]. Zdarza się, że w latach niekorzystnych z powodu suszy lub niskiej temperatury rozkład przebiega na niezmiennym poziomie. Jest to wynikiem działania innych, często niemierzalnych czynników.

Dodatek azotu

Wolniejszy rozkład słomy niż innych materiałów roślinnych objaśnia się zazwyczaj ubóstwem tego materiału w azot. Jednakże na temat wpływu tego pierwiastka na tempo rozkładu słomy zbóż w literaturze spotyka się sprzeczne dane. Piasecki [53] stwierdził, że dodatek N w ilości 2% w stosunku do dodanej do gleby słomy zwiększa szybkość rozkładu. Po 28 dniach w próbce z dodatkiem N szybkość uwalniania CO₂ była ponad dwukrotnie wyższa niż w próbce kontrolnej. Z przebadanych związków azotowych (NH₄OH, CO(NH₂)₂, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄, NaNO₃) najsilniej oddziaływał azotan sodowy. Podobnie Myśków [48], Jabłoński [23], Belau [3], Karamšuk [29], Grossbard i Harris [16], a także Wójcik-Wojtkowiak [81], w badaniach laboratoryjnych potwierdzają korzystny wpływ dodatku azotu na przyspieszenie ubytków masy słomy lub wydzielanie CO₂, a także intensywność pobierania tlenu. Jednakże zdaniem Wójcik-Wojtkowiak [81] korzystniejsza jest forma amonowa.

Natomiast Smith i Douglas [65, 66] prowadząc badania w warunkach polowych nie stwierdzili stymulującego oddziaływania azotu na rozkład słomy pszenicy. Zdaniem autorów brakujący azot mikroorganizmy pobierają z gleby, o czym świadczy dodatni bilans azotu w początkowym okresie rozkładu słomy. Prawdopodobnie mikroorganizmy preferują azot w formie organicznej w związku z czym, mimo że dodany azot mineralny poprawia C/N, to jednak nie oddziałuje na przebieg procesów mikrobiologicznych. Dodatek azotu w formie organicznej (gnojowica, nawozy zielone) zdaniem Oberländera i Rutha [52], Belaua [3] czy Kubisty i Honza [35] jest dla procesów rozkładu słomy korzystniejszy od formy mineralnej. Nie bez znaczenia wydaje się również pozytywny wpływ słomy na przebieg procesów biologicznych w glebie. Po wprowadzeniu słomy do gleby liczebność mikroorganizmów wzrasta 10—100 razy. Szczególnie intensywnie namnażają się beztlenowce z rodzaju *Clostridium* zdolne do wiązania N_2 [24, 76].

Wielu autorów zaleca jednakże równoczesne ze słomą wprowadzenie do gleby nawozów azotowych w ilości 5—10 kg czystego składnika na każdą tonę słomy [22, 74]. Według Verona [74] dodana do gleby słoma zmienia warunki azotowe gleby. Rozkład słomy ze względu na jej szeroki stosunek węgla do azotu powoduje bardzo wysokie zużycie azotu. Po wprowadzeniu słomy może wystąpić w glebie przejściowy brak azotu powodujący głód azotowy u roślin. Dodatek azotu potrzebny jest więc nie tyle dla przyspieszenia rozkładu słomy ile dla wyrównania bilansu azotowego gleby.

Dodatek fosforu

Na podstawie składu chemicznego słomy wydawałoby się, że dodatek fosforu winien mieć dodatni wpływ na jej rozkład. Jednakże badania Piaseckiego [53], Mathre'a i Johanstona [44] nie potwierdziły tych przypuszczeń. Wydaje się, że gleba zawiera wystarczające ilości tego pierwiastka dla wyrównania występujących podczas rozkładu słomy niedoborów fosforu. Co prawda Strzelec i Kobus [70] stwierdzili, że słoma pszenicy rozkłada się zdecydowanie szybciej z dodatkiem fosforanu wapniowego niż bez (po 120 dniach rozkładu ubytki wynosiły odpowiednio 49 i 10%, ale mogło to być spowodowane nie tyle dostarczeniem fosforu, co zmianą pH gleby.

Rozkład słomy w obecności herbicydów i innych związków biologicznych czynnych

Wpływem dodawanych do gleby herbicydów i innych związków bio-

logicznie czynnych zajmowali się Schröder [59, 60] Grossbard i Harris [16], Pollard [54,] Malkomes [42], Mathre i Johanston [44] i inni.

Badania w warunkach polowych wykazały, że nawet wyższe dawki herbicydów od aktualnie stosowanych nie ograniczają rozkładu słomy. Również zgrubienie źdźbła i ścian komórkowych na skutek stosowania CCC nie wpływa hamująco na przebieg procesu rozkładu. Jednakże w badaniach laboratoryjnych różne herbicydy w większym lub mniejszym stopniu obniżają tempo rozkładu. Należy więc sądzić, że w niektórych warunkach lub po przekroczeniu pewnych dawek, również w warunkach polowych, herbicydy mogą oddziaływać niekorzystnie na przebieg rozkładu słomy w glebie. Hamujące działanie herbicydu może być skutkiem zmiany składu mikroflory rozkładającej słomę. Grossbard i Harris [16] wykazali, że grzyby rozkładające słomę charakteryzują się różną odpornością na działanie herbicydów i w związku z tym niektóre z nich mogą być przez herbicydy eliminowane.

Słoma jako źródło materii organicznej gleby

Wprowadzona do gleby słoma jest zdaniem wielu autorów źródłem próchnicy glebowej, a jej rozkład prowadzi do powstania trwałego humusu [4, 22, 30, 36, 37, 48, 49, 51, 52, 67, 71, 74, 78, 81, 82]. Ilość węgla zawartego w słomie i włączanego do nowopowstających związków humusowych ocenia się na 8 do 13% [48, 52, 67, 68]. Z badań Oberländera i Rotha [52] wynika, że węgiel ten jest mniej więcej równo rozmieszczony w kwasach huminowych i fulwowych (KH/KF 1,03). Wójcik-Wojtkowiak [82] stwierdziła natomiast, że humifikacja słomy prowadzi głównie do powstania kwasów fulwowych. Jedynie w obecności N-NH₄ obserwowano również niewielki przyrost zawartości kwasów huminowych. Także Sotáková [68] jest zdania, że wprowadzona do gleby słoma powoduje zmianę kierunku procesu humifikacji z huminowego na fulwowy.

Dodatek azotu podnosi efektywność produkowania substancji humusowych [23, 71, 78]. Wszystkie nowo powstałe związki humusowe zdaniem Teppera i wsp. [71] przechodzą fazę rozpuszczalności w wodzie.

Ilość i szybkość powstawania próchnicy w trakcie rozkładu substancji organicznej w glebie wykazuje związek z ilością grzybów glebowych. Im jest ich więcej tym większe jest tempo rozkładu słomy i szybciej powstaje próchnica [23].

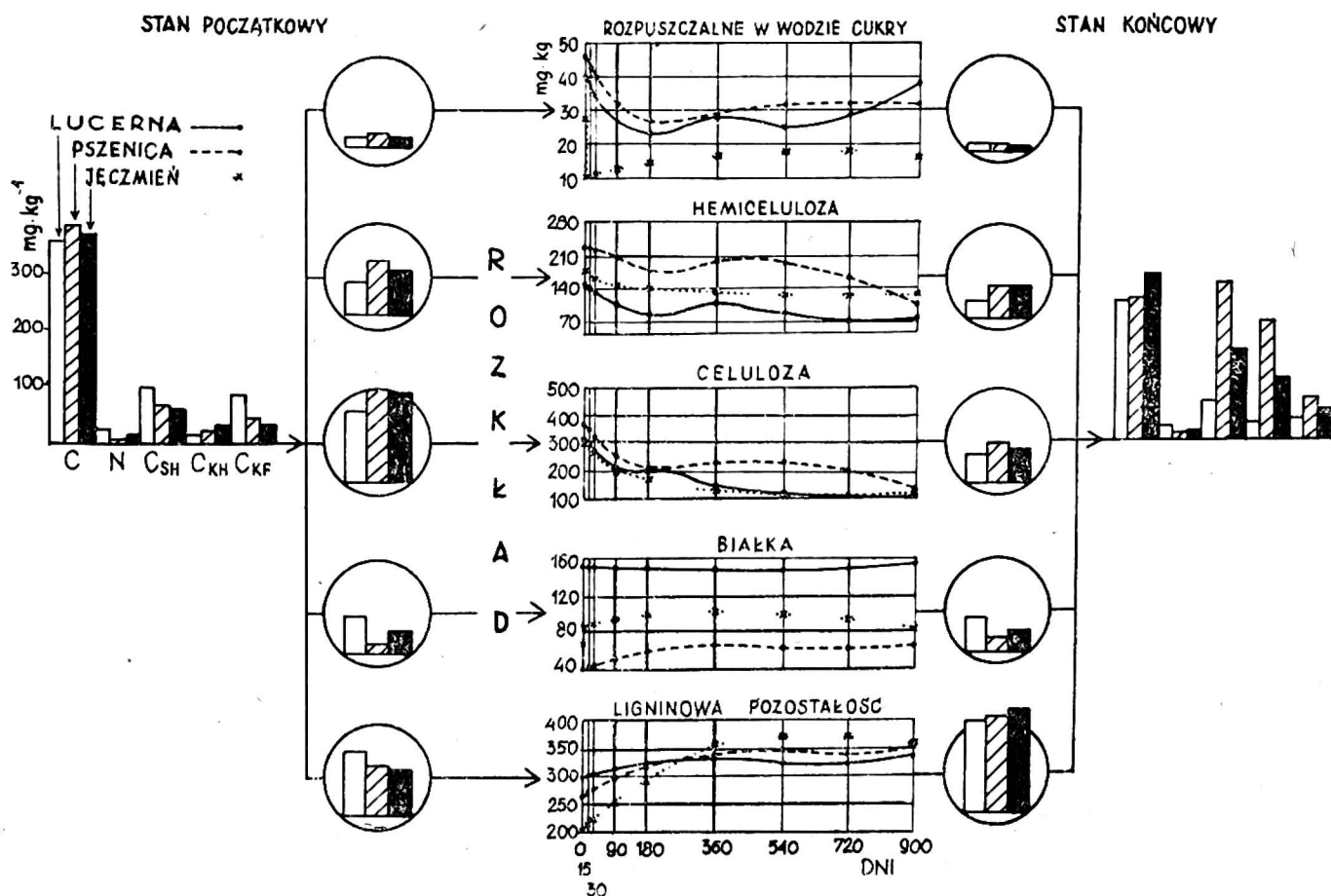
Wielu autorów uważa, że wprowadzona do gleby słoma może spowodować zwiększenie całkowitej ilości materii organicznej w glebie [10, 37, 49, 62]. W 8-letnich badaniach Mysłkowa i wsp. [49] stwierdzono na przy-

kład, że coroczna dawka słomy w ilości $7,5 \text{ t. ha}^{-1}$ spowodowała w glebie wytworzonej z piasku gliniastego przyrost materii organicznej o 13—20%. W większości badań jednakże nie notuje się przyrostu materii organicznej w glebie, stwierdza się natomiast, że dodatek słomy jest niezbędny dla utrzymania próchnicy na stałym poziomie. I tak Kick [30] w swoim 15-letnim doświadczeniu wykazał, że coroczny dodatek słomy nie spowodował wzrostu zawartości materii organicznej w warstwie ornej gleby, ale w glebie kontrolnej bez nawożenia organicznego wystąpił spadek zawartości węgla.

Według Bogusławskiego i Debrucka [4] gleba nie może przekroczyć poziomu zawartości humusu uwarunkowanego przez siedlisko. Wysokie dawki materii organicznej pobudzają glebę do wzmożonej aktywności, co powoduje rozkład nadmiaru materii organicznej. Wywołuje to intensywny obrót składników pokarmowych, który jest warunkiem wysokiego plonowania.

Modelowanie procesów rozkładu słomy

Podsumowaniem wieloletnich badań różnych autorów nad rozkładem słomy są próby uogólnień w postaci modeli graficznych [38, 68], czy matematycznych [7, 26, 38].



Rys. 1. Model przekształceń resztek poźniwnych [68]

Z modeli graficznych bardziej interesujący jest model Sotákovej (rys. 1), przedstawiający procesy mineralizacji i humifikacji resztek poźniwnych w ujęciu ilościowym i dynamicznym.

W modelach matematycznych wykorzystuje się równanie wykładnicze zaproponowane już w 1949 r. przez Jenny'ego i in. [28] do opisu rozkładu ściółek leśnych [38]:

$$y = Ae^{-kt}$$

gdzie y — procent składnika pozostający w glebie po czasie „ t ” wyrażony w dniach, wartości A i y w czasie $t = 0$ posiadają wartość 100.

Zdaniem Jenkinsona [27] i Cheshire'a i wsp. [7] większą zgodność krzywej doświadczalnej i teoretycznej uzyskuje się po zastosowaniu do opisu przebiegu rozkładu słomy równania podwójnie wykładniczego:

$$y = Ae^{-k_1t} + (100 - A)e^{-k_2t}$$

W równaniu tym przy $t = 0$, $y = 100$.

Wykorzystując to równanie Cheshire i wsp. [7] wyznaczyli wartości A , k_1 i k_2 dla ksylozy i glukozy oraz węgla całkowitego w rozkładającej się słomie żytniej w dwóch różnych warunkach glebowych (tab. 3).

Tabela 3

Parametry rozkładu składników słomy [7]

Materiał	A	k_1	k_2
Seria gleb Insch			
ksyloza	68,3	0,085	0,00063
glukoza	70,0	0,080	0,00082
C_t	40,6	0,090	0,00028
Seria gleb Cauntesswells			
glukoza	50,2	0,831	0,00284
C_t	34,5	0,053	0,00066

Dane te pozwoliły obliczyć czas potrzebny do rozkładu połowy wprowadzonego do gleby materiału (t_{50}). I tak dla niestabilizowanej części glukozy i ksylozy słomy żytniej rozkładającej się w glebie serii Insch t_{50} wynosi 8 dni, a dla stabilizowanej części glukozy 3 lata i ksylozy 2,8 lat. Dla węgla całkowitego odpowiednie wartości wynoszą 8 dni i 6,8 lat w glebie serii Insch oraz 13 dni i 2,9 lat w glebie serii Cauntesswells.

Jenkinson [27] badając rozkład rajgrasu sformułował dla ubytków węgla całkowitego następujące równanie:

$$y = 70,9e^{-2,88t} + 29,1e^{-0,087t} \quad t \text{ — w latach}$$

Równocześnie wyraził pogląd, że w materiałach roślinnych istnieją dwa rodzaje związków rozkładających się według dwóch modeli.

Jednakże ze względu na mnogość czynników oddziałujących na rozkład, procesu tego nie można sprowadzać do prostego schematu [7, 74], Cheshire i wsp. [7], choć do opisu przebiegu rozkładu wykorzystują równanie podwójnie wykładnicze, to jednak traktują je jako daleko idące uproszczenie, gdyż rozkład materiału roślinnego, ich zdaniem, przebiega według wielu modeli.

Przytoczone powyżej wyniki badań różnych autorów pokazują, że do opisu rozkładu resztek poźniwnych w zbyt małym stopniu wykorzystuje się doświadczenia z matematycznym modelowaniem rozkładu ściółek leśnych. Doświadczenia te mają długą tradycję i są bardziej zaawansowane [55].

Próba biotechnologicznego podejścia do rozkładu słomy

Zastosowanie słomy jako nawozu związane jest z wieloma problemami natury technicznej i biologicznej. Zalegająca na powierzchni słoma utrudnia uprawę gleby, występują trudności z jej przyorywaniem [33, 34, 58].

Rozkład słomy, szczególnie w początkowym stadium tego procesu, prowadzi do powstania szeregu związków toksycznych wpływających ujemnie na wzrost i rozwój roślin uprawnych [8, 13, 17, 25, 31, 32, 39, 41, 80, 83]. Unieruchomienie azotu w ciałach mikroorganizmów rozkładających słomę wywołuje w glebie przejściowy brak azotu dostępnego. Suma tych zjawisk może doprowadzić do znacznej redukcji plonów [24, 40, 46].

Trudności natury technicznej są zdaniem Lyncha i Harpera [40] stosunkowo łatwe do pokonania, gdyż skonstruowanie maszyn do cięcia słomy, równomiernego jej rozrzucenia i przyorania na odpowiednią głębokość, czy jeszcze innych, nie powinno stanowić większego problemu dla wykwalifikowanych inżynierów. Trudniejsze do rozwiązania są zagadnienia natury biologicznej. Największa toksyczność rozkładającej się słomy wiąże się z początkowymi etapami jej rozkładu [83]. Harper i Lynch [18] stwierdzili, że po rozłożeniu około 35% masy słomy owsianej ilość produkowanych w tym procesie związków toksycznych zmniejszyła się do poziomu, który nie zagrażał już roślinom uprawnym. Problemem jest więc przyspieszenie początkowych stadiów rozkładu, aby między nawożeniem słomą a siewami nowych upraw (1—2 miesiące) proces rozkładu słomy osiągnął odpowiedni stopień zaawansowania (35—40% ubytków masy), co gwarantowałoby prawidłowy rozwój wysiewanych roślin.

Drugim zagadnieniem jest zintensyfikowanie procesu wiązania wolnego azotu. Zapobiegałoby to immobilizacji azotu glebowego i eliminowało problem głodu azotowego, który przejściowo towarzyszy rozkładowi słomy w glebie.

Wiązanie N_2 jest procesem wysoce energochłonnym i w warunkach naturalnych zwykle działalność wolno żyjących bakterii wiążących azot limitowana jest dostępnością węglowodanów. Jak dotąd w naturze nie stwierdzono organizmów mających zdolności celulolityczne i wiązania azotu atmosferycznego. Takich organizmów nie udało się również uzyskać w wyniku zabiegów inżynierii genetycznej. Dlatego też te dwie funkcje muszą spełniać zespoły składające się z conajmniej dwóch gatunków [40].

Badając zdolności celulolityczne licznych bakterii i grzybów rozkładających słomę w warunkach naturalnych oraz wydajność wiązania N_2 przez różne bakterie glebowe wolnożyjące Harper i Lynch [20, 39] stwierdzili, że taki zespół (autorzy nazywają go konsorcjum) mógłby składać się z grzyba z rodzaju *Trichoderma* (np. *T. harzianum*), bakterii *Clostridium butyricum* oraz bakterii *Enterobacter cloacea*.

Do rodzaju *Trichoderma* należą grzyby o wysokiej aktywności celulolitycznej, które w procesie metabolicznym przekształcają zawartą w słomie celulozę na cukier. *Clostridium butyricum* jest beztlenową bakterią wolnożyjącą, wiążącą azot atmosferyczny. Wydajność tego procesu przy dobrym zaopatrzeniu w materiał energetyczny jest znaczna. W układzie modelowym te dwa organizmy wzrastały wspólnie na podłożu bezazotowym i w obecności celulozy jako jedyne źródła węgla i energii [73]. Wytwarzane w procesie metabolicznym grzyba cukry były wykorzystywane przez bakterię jako materiał energetyczny do wiązania N_2 , a część związanego przez bakterię azotu przejmował grzyb. Azot ten, wzmagając rozwój grzyba stymulował jego aktywność celulolityczną i prowadził do powstania produktów rozkładu bogatych w azot, a przy tym pozbawionych właściwości fitotoksycznych.

Dodanie *Enterobacter cloacea* wpływało dodatnio na funkcjonowanie tego zespołu. Bakteria ta produkuje znaczne ilości wydzielanych pozakomórkowo wielocukrów, które mogą być źródłem węgla i energii, a ponadto jako bakteria tlenowa, zużywa tlen stwarzając tym samym dogodne warunki dla beztlenowca *C. butyricum*.

Zaszczepienie słomy takim zespołem spowodowało przyspieszenie jej rozkładu i podwyższenie współczynnika rozkładu „k” z $0,0096 \text{ .dzień}^{-1}$ do $0,0139 \text{ .dzień}^{-1}$, a wydajność wiązania azotu wynosiła 12 mg N.g^{-1} słomy [19]. Jest to, jak twierdzą autorzy [40], ilość wystarczająca dla zaspokojenia potrzeb azotowych roślin. Dodanie do słomy niewielkich ilości azotu na początku doświadczenia podtrzymuje wzrost grzyba do momentu ustalenia się procesu wiązania N_2 .

Ponadto stwierdzono, że grzyby z rodzaju *Trichoderma* ograniczają lub nawet całkowicie hamują rozwój wielu patogenów roślin uprawnych [40]. Pewne zdolności ograniczające pod tym względem wykazuje również *E. cloacea*, a produkowane przez tę bakterię wielocukry mogą stanowić

bardzo ważny czynnik strukturotwórczy [40]. Dodatkową, choć niedostrzeżoną przez Harpera i Lyncha, zaletą tego zespołu (konsorcjum) jest to, że wszystkie wchodzące w jego skład organizmy występują w glebie w warunkach naturalnych. Wprowadzenie ich do gleby nie stwarza więc zagrożeń jakie towarzyszą wprowadzeniu gatunków obcych. Podsumowując, można powiedzieć, że jest to zespół wielofunkcyjny, wszechstronnie przebadany w laboratorium. Sprawdzenie jego przydatności dla rolnictwa wymaga badań w warunkach polowych. Jeśli próby wypadłyby pomyślnie należy oczekiwać ogromnych korzyści ekonomicznych i ekologicznych [40].

Uwagi końcowe

Chociaż badania nad przemianami słomy w glebie od kilkadziesiąt lat są bardzo intensywne i różnokierunkowe, w wielu kwestiach w literaturze przedmiotowej spotyka się nadal odmienne poglądy. Jako przykład można wymienić różnice zdań na temat wpływu różnych nawozów azotowych [53, 81], gleby [29, 56, 51] czy ilości dodanej słomy [26, 56] na jej rozkład. Wynika to moim zdaniem ze złożoności procesu rozkładu i różnorodności oddziałujących nań czynników. W agrocenozach na proces rozkładu oprócz warunków przyrodniczych (pogoda, rodzaj i właściwości gleby, jej aktywność biologiczna itp.) znaczny wpływ wywiera szereg czynników antropogenicznych jak uprawa gleby, nawożenie, płodozmian i in. Czynniki te mogą działać na przebieg rozkładu bezpośrednio i pośrednio zmieniając charakter innych czynników. Dlatego badania nad rozkładem słomy zbożowej, szczególnie w warunkach polowych, stwarzają ciągle wiele trudności.

W literaturze spotyka się również sprzeczne wnioski dotyczące przebiegu rozkładu słomy zbóż w glebach pod monokulturami zbożowymi. Z jednej strony znaleźć można informację, że w glebach tych rozkład słomy przebiega wolniej niż w glebach pod pełnym zmianowaniem [63, 64], a z drugiej, że po wielu latach uprawiania monokultury następuje w glebie spadek zasobów materii organicznej. Nie ma również zgodności co do kierunku procesów humifikacji resztek poźniwnych i charakteru powstających związków humusowych.

Do zagadnień dotychczas nie podejmowanych przez badaczy, lub podejmowanych w wąskim zakresie należy przebieg rozkładu korzeni zbóż i w ogóle resztek poźniwnych. Korzenie zbóż różnią się od słomy budową anatomiczną i składem chemicznym. Ponadto główną masę korzeni stanowią korzenie drobne, łatwo ulegające dezintegracji w sposób mechaniczny (kruszenie). Gleba w okół korzeni jest przesycona ich przeżyccio-

wymi wydzielinami, łatwo przyswajalnymi przez mikroorganizmy. W efekcie tego w okół korzeni powstaje strefa o szczególnej aktywności biologicznej (ryzosfera) [43]. Różnice te muszą wywierać wpływ na kierunek i intensywność rozkładu korzeni w glebie, a ponieważ resztki pozostawne składają się zarówno z korzeni jak i słomy, rozkład tego materiału będzie zapewne wypadkową rozkładu słomy i korzeni, dodatkowo modyfikowaną przez wzajemne oddziaływanie na siebie tych procesów.

Dokładne poznanie powyższych zagadnień może mieć duże znaczenie gospodarcze i przyrodnicze, dlatego włączono je do planu badawczego na lata 1986—1990 podprogramu CPBP 04.10.03.

LITERATURA

1. Atlanvinyté O.: *Pedobiologia*, 11,2 104—115, 1971.
2. Bacon J. S. D.: What is straw decay? Some retrospective coments. (W): Grossbard E. ed. *Straw decay and its effect on disposal and utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Birsbane, Toronto, s. 227—236, 1979.
3. Belau L.: *Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenk.* 16,8, 599—612, 1972.
4. Boguslawski E., Debruck J.: *Mitt. dt. Landw.—Ges.*, 33, 1104—1110, 1970.
5. Broadbent F. E.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18, 165—169, 1954.
6. Brown P. L., Dickey D. D.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 118—121, 1970.
7. Cheshire M. V., Sparling G. P., Inkson R. H. E. The decomposition of straw in soil. (W): Grossbard E. ed. *Straw decay and its effect on disposal und utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 65—71, 1979.
8. Cochran V. L., Elliott L. F., Papendick R. I.: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 903—908, 1977.
9. Cochran V. L., Elliott L. F., Papendick R. I.: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 5, 978—982, 1980.
10. Debruck J.: *Dt. Landw. Presse*, 94, 15, 4, 1971.
11. Debruck J.: *Landmaschinenwelt*, 1, 9—12, 1975.
12. Dospechov B. A., Vasiljeva D. V., Usmanov R. R.: *Izv. TSChA*, 3, 25—33, 1978.
13. Flaig W., Saubach E.: *Z. Pfl-Düng.* 87/132, 229—239, 1959.
14. Grossbard E. ed. *Straw decay and its effect on disposal and utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. XXII + 337, 1979.
15. Grossbard E.: Problems of assessing the degree of aerobic decomposition of straw. (W): Grossbard E. ed. *Straw decay and its effect on disposal and utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 285—288, 1979.
16. Grossbard E., Harris D.: Effects of herbicides on the decay of straw. (W): *Straw decay and its effect on disposal and utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 167—176, 1979.
17. Guenzi W. D., Mc Calla T. M., Norstadt F. A.: *Agron. J.* 59, 163—165, 1967.
18. Harper S. H. T., Lynch J. M.: The kinetics of the decomposition of straw in relation to the production of phytotoxins. (W): Grossbrad E ed. *Straw de-*

- cay and its effect on disposal and utilization. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 289—291, 1979.
19. Harper S. H. T., Lynch J. M.: J. Soil Sci. 32, 627—637, 1981.
 20. Harper S. H. T., Lynch J. M.: J. Appl. Bact. 57, 131—137, 1984.
 21. Harris D., Grossbard E., Smith C.: Measurement of mechanical resistance to shearing force as an estimate of decomposition in straw. (W): Grossbard E. ed. Straw decay and its effect on disposal and utilization. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 267—269, 1979.
 22. Heintze R.: Landmasch. — Markt., 47, 18, 12—16, 1968.
 23. Jabłoński B.: Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 77a, 83—91, 1968.
 24. Jemcev V. T., Nice L. K., Pokrovskij N. P., Bruk M. Ch.: Izv. TSChA, 2, 93—104, 1980.
 25. Jemcev V. T., Nice L. K., Bruk M. Ch., Pokrovskij N. P., Izv. TSChA, 3, 81—87, 1981.
 26. Jenkinson D. S.: J. Soil Sci. 28, 3, 417—423, 1977.
 27. Jenkinson D. S.: J. Soil Sci. 28, 3, 424—434, 1977.
 28. Jenny H., Gessel S. P., Bingham F. T.: Soil Sci. 68, 419—432, 1949.
 29. Karamšuk Z. P.: Agrochimija, 9, 79—85, 1977.
 30. Kick H.: Mitt. dt. Landw-Ges., 30, 868—871, 1974.
 31. Kimber R. W. L.: Pl. Soil, 38, 3, 543—555, 1973.
 32. Kimber R. W. L.: Rural Res. CSIRO, 83, 12—14, 1974.
 33. Kolbe G., Stumpe H.: Nawożenie słomą PWRiL, Warszawa, s. 130, 1975.
 34. Koszel K., Koszel T.: Nowe Rol. 21, 10—12, 1972.
 35. Kubista K., Hons P.: Rast. Vyroba, 23 (L), 6, 601—609, 1977.
 36. Kuduk C.: Roc. Gleb., 29, 2, 67—78, 1978.
 37. Kuduk C.: Roc. Gleb. 30, 2, 85—94, 1979.
 38. Lynch J. M.: Straw residues as substrates for growth and product formation by soil micro-organisms. (W): Grossbard E. ed. Straw decay and its effect on disposal and utilization. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 47—56, 1979.
 39. Lynch J. M., Harper S. H. T.: J. Gen. Microbiol., 129, 251—253, 1983.
 40. Lynch J. M., Harper S. H. T.: Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 310, 221—226, 1985.
 41. Mc Calla T. M., Haskins F. A.: Bacteriol. Rev. 28, 181—207, 1964.
 42. Malkomes H. P.: Z. PflKrankh. PflSchutz, 89, 705—714, 1982.
 43. Marszewska-Ziemięcka J. ed.: Mikrobiologia gleby i nawozów organicznych. Wyd. 3, PWRiL, Warszawa, s. 450, 1974.
 44. Mathre D. E., Johanston R. H.: Soil Biol. Biochem. 11, 6, 577—580, 1979.
 45. Merbitz H.: Mitt. dt. Landw—Ges., 51, 1289—1292, 1972.
 46. Merchalev E. S., Samojlov T. J., Kostin V. N., Juškov E. S., Zdanov S.G.: Agrochimija, 9, 72—78, 1977.
 47. Morris J., Radley R. W., Smith D. L. O., Plom A.: Agricult. Progress, 51, 77—96, 1976.
 48. Myśków W.: Pam. Puł., 4, 25—43, 1961.
 49. Myśków W., Jaszczewska B., Stachyra A., Naglik E.: Roc. Gleb., 37, 2—3, 15—35, 1986.
 50. Nychan J. W.: Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39, 643—648, 1975.
 51. Oberländer H. E., Roth K.: Landwirtsch. Forsch. 25, 295—318, 1972.
 52. Oberländer H. E., Roth K.: Bodenkultur, 26, 2, 139—145, 1975.

53. Piasecki J.: *Studia nad rozkładem słomy w glebie*. Szczec. Tow. Nauk. 22, 2, s. 97, 1965.
54. Pollard F.: *The decay of straw on the surface of undisturbed soil in the field and the effect of herbicides*. (W): Grossbard E. ed. *Straw decay and its effect on disposal and utilization*. J. Wiley a. Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, s. 177—184, 1979.
55. Prusinkiewicz Z.: *Gedderma*, 23, 79—93, 1980.
56. Puig-Gimenez M. H., Chase F. E.: *Can. J. Soil Sci.*, 64, 9—19, 1984.
57. Sauerbeck D., Johnen B., Massen G. G.: *Agrochimica*, 16, 62—76, 1972.
58. Schiffer W.: *Trakt. Landmach.*, 32, 14, 825—826, 1970.
59. Schröder D.: *Z. Acker-u. Pfl.*, 141, 240—248, 1975.
60. Schröder D.: *Z. PflErnähr. Bodenk.*, 142, 4, 616—625, 1979.
61. Schröder D., Gewehr H.: *Z. PflErnähr. Bodenk.*, 140, 3/4, 273—284, 1977.
62. Shaw W. M., Robinson B.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 54—57, 1960.
63. Shields J. A., Paul E. A.: *Can. J. Soil Sci.*, 53, 297—306, 1973.
64. Sidorov M. I., Zezukov N. I.: *Vest. s-ch. nauki*, 11, 78—84, 1981.
65. Smith J. H., Douglas C. L.: *Soil Sci.* 106, 456—459, 1968.
66. Smith J. H., Douglas C. L.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35, 269—272, 1971.
67. Sørensen H.: *Soil Sci.*, 95, 45—51, 1963.
68. Sotáková S.: *Rastl. Vyroba*, 29, 10, 1077—1084, 1983.
69. Stacey M.: *Agricul. Progress*, 51, 69—75, 1976.
70. Strzelec A., Kobus J.: *Rocz. Gleb.* 30, 3, 93—107, 1979.
71. Tepper E. Z., Ivanova B. I., Genžara N. F.: *Izv. TSCChA*, 2, 131—139, 1975.
72. Tichonov A. V.: *Agrochimija*, 6, 59—62, 1980.
73. Veal D. A., Lynch J. M.: *Nataure*, Lond. 310, 695—697, 1983.
74. Verona O.: *Landw. Forsch.*, 24, 2, 139—151, 1971.
75. Vilsmeier K., Amberger A.: *Landw. Forsch.* 34, 4, 234—241, 1981.
76. Vizla R. R., Vinkalne M. O.: *Izmenenije soderžanija azota, mineralnych veščestv i mikrobiologičeskich processov v počve i urožaje pod vlijanijem udobrenija solomoj*. (W): *Ulučšenije plodorodija počvy*. Zinatne, Riga, s. 48—68, 1973.
77. Vollmer F. J.: *Dt. Landw. Presse*, 97, 9, 4, 1974.
78. Wagner A., Amberger A., Rassadi F.: *Bayer Landw. Jahrb.*, 51, 7, 804—812, 1974.
79. Waksman S. A., Gerretsen F. C.: *Ecology*, 12, 33—60, 1931.
80. Winter A. G., Schönbeck F.: *Z. Pfl. Düng. Bodenk.* 79, 132—142, 1957.
81. Wójcik-Wojtkowiak D.: *Pl. Soil*, 36, 2, 261—270, 1972.
82. Wójcik-Wojtkowiak D.: *Przemiany związków azotowych znakowanych ¹⁵N podczas humifikacji słomy w glebie*. *Rocz. Ak. Rol. Poznań, Prace habilitacyjne*, 64, s. 37, 1976.
83. Wójcik-Wojtkowiak D.: *Rola allelopatii w rolniczych ekosystemach*. *Maszynopis*, s. 33, 1986.
84. Zdražil F.: *Z. PflErnähr. Bodenk.* 3, 263—278, 1975.

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987 r.

Materiały pracy nadesłane do redakcji w marcu 1987 r.