

Janusz Nowak
Akademia Rolnicza w Lublinie

Straty w produkcji kiszonek powodowane wypływaniem soków

Słowa kluczowe: produkcja kiszonek, jakość kiszonek, wypływanie soków

Wstęp

Podczas kiszenia pasz wydziela się z komórek roślinnych płyn zwany sokiem kiszonkowym, który może być źródłem znacznych strat składników pokarmowych [3, 4, 5, 13, 16, 29]. Sporządzanie dużej ilości kiszonek z materiału o małej zawartości suchej masy powoduje często znaczne zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych. Może ono stanowić nawet 25% ogólnego zanieczyszczenia wód powodowanych przez rolnictwo (w okresie wilgotnego lata). Soki kiszonkowe ze względu na specyficzny skład charakteryzują się wysoką wartością biochemicznego zapotrzebowania na tlen (BZT), które może być nawet kilkaset razy większe w zestawieniu ze ściekami domowymi. Analizy przeprowadzone przez Haiga [11] wykazały, że z ogólnej ilości 29,7 Mt kiszonek z traw produkowanych w 1991 roku (Anglia i Walia) otrzymano ponad 1,5 mln m³ soków kiszonkowych. Znaczna ich część pochodziła z materiału konserwowanego o zawartości suchej masy około 21%. Warto podkreślić, że pasze o małej zawartości suchej masy (poniżej 17%) stanowiły znikomą część ogólnej ilości produkowanych kiszonek (około 8%).

Ilość soków wydzielanych z zakiszanej paszy zmienia się w znacznym zakresie. Może osiągać wartość nawet do 500 l na tonę paszy (liście buraków cukrowych o bardzo małej zawartości suchej masy). Liczne badania wykazały, że ilość wydzielanych soków kiszonkowych zależy od wielu czynników, a za najważniejsze uznaje się [19, 20, 21, 31, 38]:

- zawartość suchej masy,
- rodzaj zakiszanej paszy i poziom nawożenia,
- sposób przygotowania materiału do kiszenia (rozdrobienie, zagęszczenie paszy w silosie, typ silosu),
- stosowane dodatki kiszonkarskie.

Janusz Nowak

Akademia Rolnicza w Lublinie

Straty w produkcji kiszonek powodowane wypływaniem soków

Słowa kluczowe: produkcja kiszonek, jakość kiszonek, wypływanie soków

Wstęp

Podczas kiszenia pasz wydziela się z komórek roślinnych płyn zwany sokiem kiszonkowym, który może być źródłem znacznych strat składników pokarmowych [3, 4, 5, 13, 16, 29]. Sporządzanie dużej ilości kiszonek z materiału o małej zawartości suchej masy powoduje często znaczne zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych. Może ono stanowić nawet 25% ogólnego zanieczyszczenia wód powodowanych przez rolnictwo (w okresie wilgotnego lata). Soki kiszonkowe ze względu na specyficzny skład charakteryzują się wysoką wartością biochemicznego zapotrzebowania na tlen (BZT), które może być nawet kilkaset razy większe w zestawieniu ze ściekami domowymi. Analizy przeprowadzone przez Haiga [11] wykazały, że z ogólnej ilości 29,7 Mt kiszonek z traw produkowanych w 1991 roku (Anglia i Walia) otrzymano ponad 1,5 mln m³ soków kiszonkowych. Znaczna ich część pochodziła z materiału konserwowanego o zawartości suchej masy około 21%. Warto podkreślić, że pasze o małej zawartości suchej masy (poniżej 17%) stanowiły znikomą część ogólnej ilości produkowanych kiszonek (około 8%).

Ilość soków wydzielanych z zakiszanej paszy zmienia się w znacznym zakresie. Może osiągać wartość nawet do 500 l na tonę paszy (liście buraków cukrowych o bardzo małej zawartości suchej masy). Liczne badania wykazały, że ilość wydzielanych soków kiszonkowych zależy od wielu czynników, a za najważniejsze uznaje się [19, 20, 21, 31, 38]:

- zawartość suchej masy,
- rodzaj zakiszanej paszy i poziom nawożenia,
- sposób przygotowania materiału do kiszenia (rozdrobienie, zagęszczenie paszy w silosie, typ silosu),
- stosowane dodatki kiszonkarskie.

Czynniki wpływające na wypływanie soków

Jednym z najistotniejszych czynników decydujących o ilości soków wypływających z zakiszanej paszy jest zawartość suchej masy. Potwierdzają to wyniki licznie prowadzonych badań, które dotyczyły także oceny wpływu innych czynników na jakość otrzymywanej kiszonki oraz straty towarzyszące konserwowaniu [2, 7, 15, 18, 27, 34].

W Instytucie Badawczym Rolnictwa Północnej Irlandii [8] przeprowadzono doświadczenia mające na celu pomiar ilości soków wypływających z silosów napełnianych zielonką z życicy trwałej o różnej zawartości suchej masy. Oceniano również wpływ sposobu przygotowania paszy do konserwowania na jakość produktu końcowego.

Zakres badań obejmował kiszonkę otrzymywaną z:

- materiału o małej zawartości suchej masy, koszonego sieczkarnią dokładnego cięcia (teoretyczna długość sieczki 12 mm);
- zielonki nie poddawanej wstępnej obróbce mechanicznej, ale podsuszanej do około 20% i 25% zawartości suchej masy;
- paszy poddanej intensywnej obróbce (tzw. matowaniu) i wstępnie podsuszonej do około 25% zawartości suchej masy.

Materiał przeznaczony do konserwowania charakteryzowała zbliżona zawartość azotu oraz węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie. Istotne natomiast różnice dotyczyły otrzymanych kiszonek. Pasza uzyskana z zielonki poddanej „matowaniu” zawierała najmniejszą ilość azotu amoniakalnego (około 8,3% ogólnej ilości azotu) oraz kwasu masłowego, którego zawartość była prawie 20-krotnie mniejsza w porównaniu z kiszonką z materiału najmniej podsuszonego. Biorąc pod uwagę ilość otrzymanych soków kiszonkowych, należy stwierdzić, że decyduje o niej tylko wilgotność konserwowanej paszy. Z kiszonki sporządzonej z materiału zbieranego sieczkarnią dokładnego cięcia uzyskano 1247 l soku w przeliczeniu na 1000 kg suchej masy otrzymanego produktu. Warto również dodać, że konserwowaniu takiej paszy towarzyszyło intensywne wypływanie soków, a największe jego dobowe natężenie (w ciągu 136-dniowego składowania materiału) wynosiło 53,6 l w odniesieniu do 1000 kg suchej masy.

Wyniki badań laboratoryjnych prowadzonych przez Keady i O’Kiely [17] wykazały, że o stratach suchej masy oraz ilości wypływających soków z zakiszanej życicy trwałej decyduje również poziom nawożenia oraz stosowane dodatki kiszonkarskie. Po 120 dniach kiszenia zielonki z trawy nienawożonej związkami potasu otrzymano 56 g soku kiszonkowego z 1 kg konserwowanego materiału. Obfite nawożenie potasowe życicy trwałej spowodowało wydzielenie 95 g soku. Zbliżone ilości wydzielonego soku otrzymano z zielonki pochodzącej z trawy nawożonej dawką 168 kg N/ha. Wyniki prowadzonego doświadczenia nie wykazały natomiast istotnego wpływu stosowania kwasu mrówkowego (3 l/t) na ilość wydzielanego soku

w zestawieniu z grupą kontrolną. Warto również dodać, że całkowite straty suchej masy wynikające z kiszenia (fermentacji, wypływania soków, oddychania komórek roślin w początkowej fazie konserwowania) zależały głównie od nawożenia azotowego i stosowanego dodatku kiszonkarskiego. Najwyższa ich wartość dotyczyła zielonki konserwowanej w sposób naturalny (17,2%). Straty suchej masy związane z kiszeniem materiału przy zastosowaniu kwasu mrówkowego wynosiły 13%, a otrzymana pasza zawierała małą ilość azotu amoniakalnego.

Doświadczenie przeprowadzone przez Wintersa, Fychana i Jonesa [39] miało na celu pomiar ilości soków wypływających z silosu oraz określenie ich składu. Zielonkę o zawartości 27,3% suchej masy kiszono w 3 silosach o pojemności około 50 ton. Przeprowadzone doświadczenie obejmowało konserwowanie paszy w sposób naturalny (bez dodatku), z udziałem kwasu mrówkowego 3,3 l/t oraz z dodatkiem *Lactobacillus plantarum* (Live System Genus) w ilości 10^6 kolonii bakterii na 1 gram zakiszane materiału. W ciągu 75 dni kiszenia pasz uzyskano z każdego silosu po około 120 l soków kiszonkowych, które różniły się składem chemicznym.

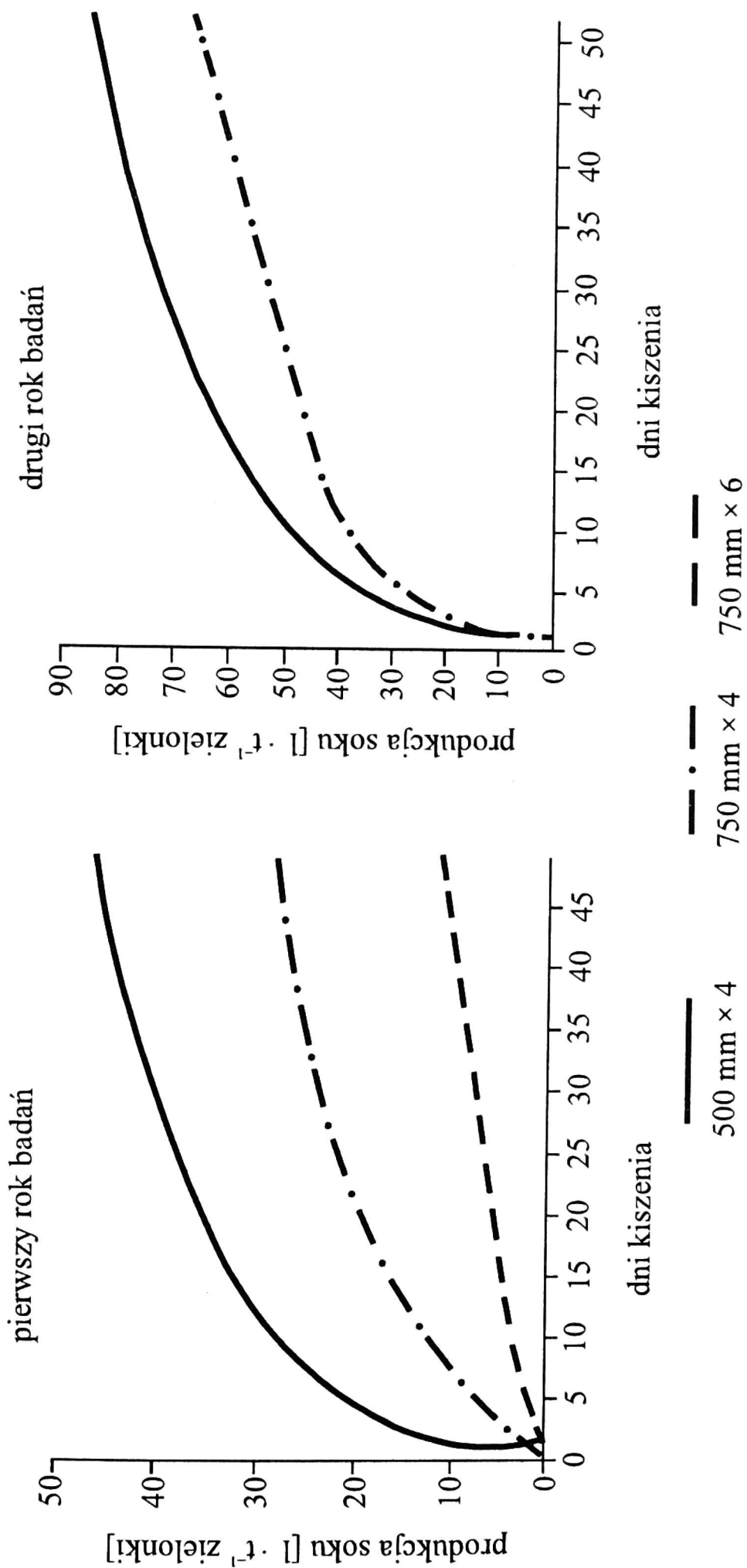
W soku pochodzącym z materiału konserwowanego z dodatkiem kwasu mrówkowego zanotowano większą zawartość węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie niż w soku otrzymanym z dwu pozostałych silosów. Warto również podkreślić brak obecności kwasu mlekowego i octowego w soku o największej zawartości węglowodanów. Jest to wynikiem zahamowania procesów fermentacyjnych przez stosowany dodatek kiszonkarski. Największą zawartością azotu cechował się sok pochodzący z kiszenia zielonki w sposób naturalny (2,07 g/l), a udział w nim wolnych aminokwasów wynosił około 8,5 g/l. W soku nie zawierającym kwasu mlekowego i octowego udział analizowanych aminokwasów nie przekraczał 5,5 g/l.

W ciągu trzech lat (1988–1990) Randby [32] przeprowadził doświadczenie mające na celu pomiar ilości i składu soków odpływających z drewnianych silosów o pojemności 92 m³. Materiałem zakiszany była świeża zielonka z traw łąkowych zebrana sieczkarnią bijakową, do której dodawano 4,5 litra Foraformu (64% kwasu mrówkowego, 6% amoniaku) na 1 tonę. Tak przygotowaną paszę do konserwowania umieszczono w dwóch silosach, które różniły się sposobem gromadzenia wypływających soków. Jeden z nich wyposażono w oddzielny zbiornik na sok kiszonkowy. W drugim natomiast silosie kiszonka znajdowała się razem z sokiem. Trawa zbierana w 1988 roku charakteryzowała się wyższą zawartością suchej masy i włókna surowego w zestawieniu z paszą z dwu następnych lat badań. Natomiast poziom białka ogólnego i cukrów był znacznie niższy. Największą ilość punktów w skali Fliega-Zimmera (F-Z) uzyskała pasza w roku 1990 (98 punktów dla kiszonki składowanej razem z sokiem i 96 punktów dla kiszonki z silosu ze zbiornikiem na sok). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że pasza otrzymana z materiału o najwyższej zawartości suchej masy (rok 1988) charakteryzowała się najmniejszym pH. Nie zaobserwowano znacznych różnic w jakości kiszonek otrzymywanych w dwu typach silosów. Zawartość podstawowych kwasów w paszy konserwowanej w obecności soku kiszon-

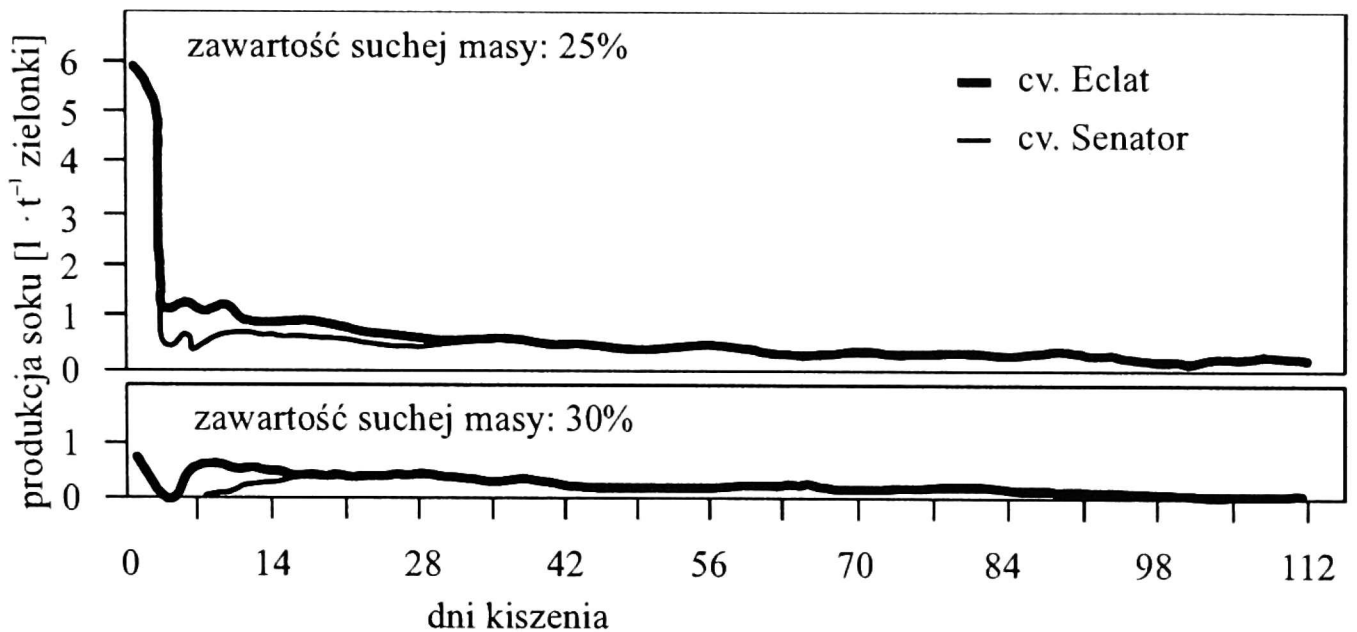
kowego była nieznacznie wyższa w zestawieniu z kiszonką, z której soki wypływały na zewnątrz silosu. Dane dotyczące strat wynikających z kiszenia wskazują na znaczny wpływ wilgotności konserwowanej paszy oraz na typ silosu. Największe całkowite straty suchej masy dotyczyły konserwowania zielonki o małej zawartości suchej masy (około 16,8% w roku 1989). Wynosiły one prawie 25% (silos ze zbiornikiem na sok), w tym straty wynikające z wypływania soku kiszonkowego stanowiły około 65%. Całkowite straty cukrów wynosiły nawet 90%, a udział strat powodowanych wypływającym sokiem nie przekraczał 30%. Znaczną pozycję stanowiły tu jednak straty fermentacji i oddychania.

Na szczególne podkreślenie zasługują wyniki badań prowadzonych przez Fychana i Jonesa [10], które dotyczyły oceny sposobu kiszenia rajgrasu *cv. Augusta* na jakość otrzymanej paszy oraz ilość wypływających soków z konserwowanego materiału. Zielonkę o dużej wilgotności (około 18% suchej masy), w której węglowodany rozpuszczalne w wodzie stanowiły 20,6% zawartości suchej masy, zakiszano w krytym silosie przejazdowym oraz w formie bel cylindrycznych owijanych folią rozciągliwą. Silos napełniano paszą zbieraną przyczepą zbierającą oraz sieczkarnią dokładnego cięcia. Pierwsza z wymienionych maszyn, jak i prasa zwijająca nie były wyposażone w zespoły tnące. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano lepszej jakości kiszonkę z zielonki zbieranej sieczkarnią dokładnego cięcia. Charakteryzowała się ona niskim pH oraz małą zawartością azotu amoniakalnego. Nie zawierała również kwasu masłowego. Kiszonki otrzymane z materiału nierozdrobnionego cechuje wyższa zawartość azotu amoniakalnego, a udział kwasu masłowego w ogólnej ilości analizowanych kwasów wynosi 19,85% (kiszonka sporządzana w formie bel cylindrycznych) oraz 14,48% dla paszy otrzymanej z zielonki zbieranej przyczepą. W początkowym okresie kiszenia pasz zaobserwowano większe wypływanie soków z materiału znajdującego się w belach cylindrycznych niż z zielonki ułożonej w silosie. Jest to wynikiem między innymi mniejszego zagęszczenia bel formowanych prasą zwijającą, które ułatwia wypływanie soków. Istotnym czynnikiem jest również mała objętość „silosu”, przez co soki komórkowe mają krótszą drogę do pokonania, niż ma to miejsce w dużym silosie. Intensywniejsze wypływanie soków z bel cylindrycznych (w początkowym okresie kiszenia) może być powodowane znacznym uszkodzeniem łądyg zbieranych roślin. Podczas formowania bel w prasie zwijającej występuje intensywny proces ich zgniatania. Całkowita ilość soku kiszonkowego uzyskana z bel cylindrycznych (po 52 dniach kiszenia zielonki) stanowi jednak około 80% objętości soku otrzymanego z paszy konserwowanej w silosie przejazdowym.

Interesujące badania były również prowadzone przez Fychana i Jonesa [9]. Dotyczyły one oceny wpływu ilości nakładanych warstw folii rozciągliwej i jej szerokości na jakość otrzymywanej kiszonki w belach cylindrycznych oraz ilość wypływającego soku. Z zależności przedstawionych na rysunku 1 wynika, że zabezpieczenie paszy przed dostępem powietrza folią szerokości 750 mm powoduje mniejsze wydzielanie soków komórkowych. Mniejsza liczba połączeń nakładanej



Rysunek 1. Ilość wypływającego soku kiszonkowego z kiszonki sporządzonej w formie bel cylindrycznych w zależności od szerokości folii rozciągliwej i liczby nakładanych warstw (zawartość suchej masy w kiszonkiej paszy: 18,5% dla pierwszego roku badań; 16,7% dla drugiego roku badań)



Rysunek 2. Wpływ odmiany kukurydzy i zawartości suchej masy w zielonce z całych roślin na produkcję soku kiszonkowego

folii zapewnia większą szerokość „opakowania”. Ograniczony dopływ powietrza do konserwowanej paszy wpływa korzystnie na przebieg procesów fermentacyjnych. Zabezpieczenie paszy sześcioma warstwami folii szerokości 750 mm spowodowało ponad 4-krotne zmniejszenie ilości wydzielanego soku w zestawieniu z belami owijanymi czterema warstwami folii szerokości 500 mm.

Na rysunku 2 zamieszczono wyniki badań, które wskazują na ścisłą zależność pomiędzy ilością wypływających soków podczas koszenia zielonki z całych roślin dwóch odmian kukurydzy zbieranych w różnych stadiach dojrzałości. Konserwowaniu paszy (silos wieżowy) o wilgotności 75% towarzyszyło wydzielanie około 60 l soku z 1 tony. Straty suchej masy związane z tym procesem wynosiły około 2%. Kiszenie materiału o wilgotności 70% znacznie obniżyło ilość wydzielanych soków, a straty suchej masy nie przekroczyły 0,8%. Warto również dodać, że prawie połowa soku otrzymanego w ciągu 112 dni kiszenia pochodziła z pierwszego tygodnia składowania paszy. Wyniki badań uzyskane przez Wyssa [40] znacznie różnią się od rezultatów doświadczeń prowadzonych przez Messera i Hawkinsa [22], które dotyczyły kiszenia zielonki z całych roślin kukurydzy (o wilgotności 79%) w silosie o pojemności 10 ton. Podczas kiszenia paszy o średniej długości siewki 6 mm uzyskano tylko 52 l soku z 1 t materiału poddanego konserwowaniu. Zwiększenie długości siewki do 32 mm spowodowało dwukrotne obniżenie ilości wydzielanego soku.

Najnowsze badania prowadzone przez Haiga [12] dotyczyły kiszenia zielonki o niskiej zawartości suchej masy z różnymi dodatkami. Pasza otrzymana z dodatkiem kwasu mrówkowego w ilości 3 l/t charakteryzowała się istotnie niższym pH w zestawieniu z pozostałymi kiszonkami. Najwyższa wartość pH dotyczyła kiszonki otrzymanej w sposób naturalny oraz z dodatkiem preparatów biologicznych zawierających kultury bakterii fermentacji mlekowej. Podobne relacje odnoszą się do zawartości azotu amoniakalnego. Najlepszej jakości kiszonkę otrzymano z zielonki

konserwowanej z dodatkiem kwasu mrówkowego (98 punktów wg skali Fliega-Zimera). Pasze konserwowane w sposób naturalny oraz z dodatkiem bakterii fermentacji mlekowej (w formie roztworu) nie uzyskały nawet 50 punktów. Dodatek kwasu mrówkowego wpłynął na wzrost ilości wypływających soków. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w ilości wypływających soków z pozostałych pasz. Warto jednak podkreślić, że większej ilości wydzielanych soków kiszonkowych odpowiada mniejsza zawartość w nich suchej masy. Można więc sądzić, że straty suchej masy wynikające z wypływania soków będą zbliżone.

Wyniki doświadczenia prowadzonego przez Pettersona, Mayne'a i in. [28] potwierdziły pozytywny wpływ kwasu mrówkowego na ilość wydzielanego soku z materiału o wilgotności około 81% (zbieranego sieczkarnią podwójnego cięcia). Natomiast dodatek preparatu biologicznego w ilości $1,68 \cdot 10^6$ kolonii bakterii w 1g zielonki (*Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*) wraz z enzymami (celulaza, hemicelulaza i amylaza) zmniejszył wydzielanie soków w porównaniu z kiszaniem paszy w sposób naturalny. Zadecydowało to o małych stratach suchej masy (około 30% mniejsze w porównaniu z konserwowaniem zielonki z kwasem mrówkowym w ilości 2,59 l/t).

W doświadczeniu prowadzonym nad zakiszaniem zielonki (trzeci pokos kupkówki pospolitej z koniczyną czerwoną o zawartości około 22,5% suchej masy) w silosie wieżowym uzyskano więcej soku z paszy konserwowanej z dodatkiem preparatu biologicznego Silogen (liofilizowane bakterie *Lactobacillus acidophilus* oraz *Aspergillus oryzae*) niż z materiału konserwowanego w sposób naturalny [6]. Sucha masa soku pochodzącego z paszy kiszanej bez dodatku stanowiła około 79% masy soku kiszonkowego zebranego z silosu, w którym kiszono materiał z dodatkiem Silogenu. Nie zaobserwowano istotnych różnic w składzie chemicznym porównywanych soków kiszonkowych. Wyniki badań strawnościowych wykazały, że strawność substancji organicznej paszy otrzymanej z dodatkiem preparatu biologicznego jest ponad trzy punkty procentowe wyższa niż kiszonki uzyskanej na drodze fermentacji naturalnej.

Modele matematyczne strat związanych z wypływaniem soków kiszonkowych

Wyniki licznych badań prowadzonych nad określaniem wpływu zawartości suchej masy w konserwowanym materiale na straty powodowane wypływaniem soków kiszonkowych pozwoliły na opracowanie modeli matematycznych różnej postaci [16, 23, 26, 33, 37]. Sutter [35] proponuje następującą zależność liniową:

$$Q_{\text{wyp}} = 669,4 - 2,24d$$

gdzie: Q_{wyp} — produkcja soku kiszonkowego [$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ kiszonki],
 d — zawartość suchej masy w konserwowanej paszy [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$].

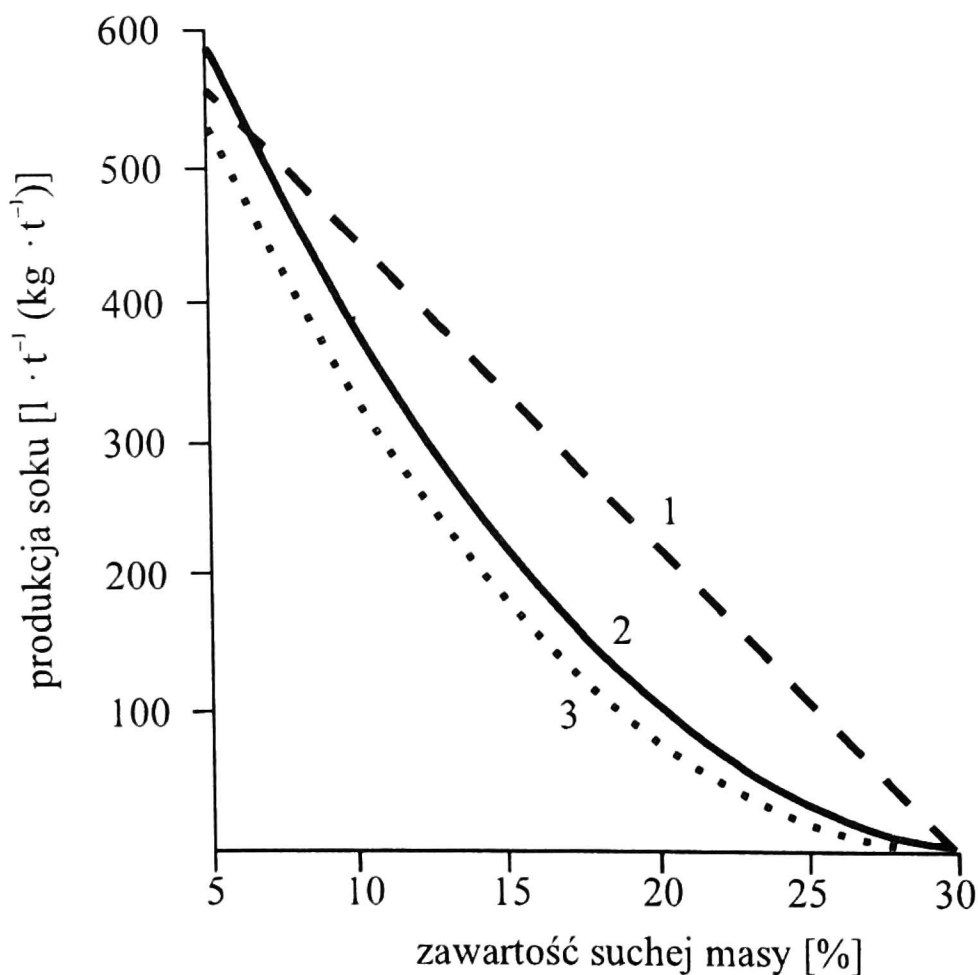
Równanie opracowane na podstawie wyników badań prowadzonych przez Millera i Cliftona [23] ma następującą postać:

$$S_{\text{wyp}} = 17,614 - 0,538d$$

gdzie: S_{wyp} — oznacza straty suchej masy wynikające z wypływania soków kiszonkowych z konserwowanej paszy [%].

W wielu opracowaniach spotyka się jednak zależności nieliniowe. Przykładem mogą być równania podawane przez Zimmera [41] oraz Bastimana i Altmana [1], rys. 3. Ilość soku obliczona na podstawie równań drugiego stopnia różni się dość znacznie od wielkości obliczanej z zależności podanej przez Suttera [35]. Największe rozbieżności dotyczą szacowania ilości soków wypływających z zakiszanej paszy o wilgotności w zakresie 75–85%. Wartości obliczone wg zależności opracowanej przez Bastimana i Altmana [1] stanowią około 50% średniej ilości soków oszacowanych zgodnie z równaniem pierwszego stopnia.

Z podanych dotychczas zależności wynika, że kiszeniu paszy o zawartości suchej masy około 30% nie towarzyszy wypływanie soków powodujących straty składników



Rysunek 3. Produkcja soku kiszonkowego w funkcji zawartości suchej masy w zielonce z traw: 1 — wg Suttera ($Q_{\text{wyp}} = 669,4 - 22,4d$); 2 — wg Zimmera ($Q_{\text{wyp}} = 832,6 - 54,18d + 0,8832d^2$); 3 — wg Bastimana i Altmana ($Q_{\text{wyp}} = 767 - 53,4d + 0,936d^2$)

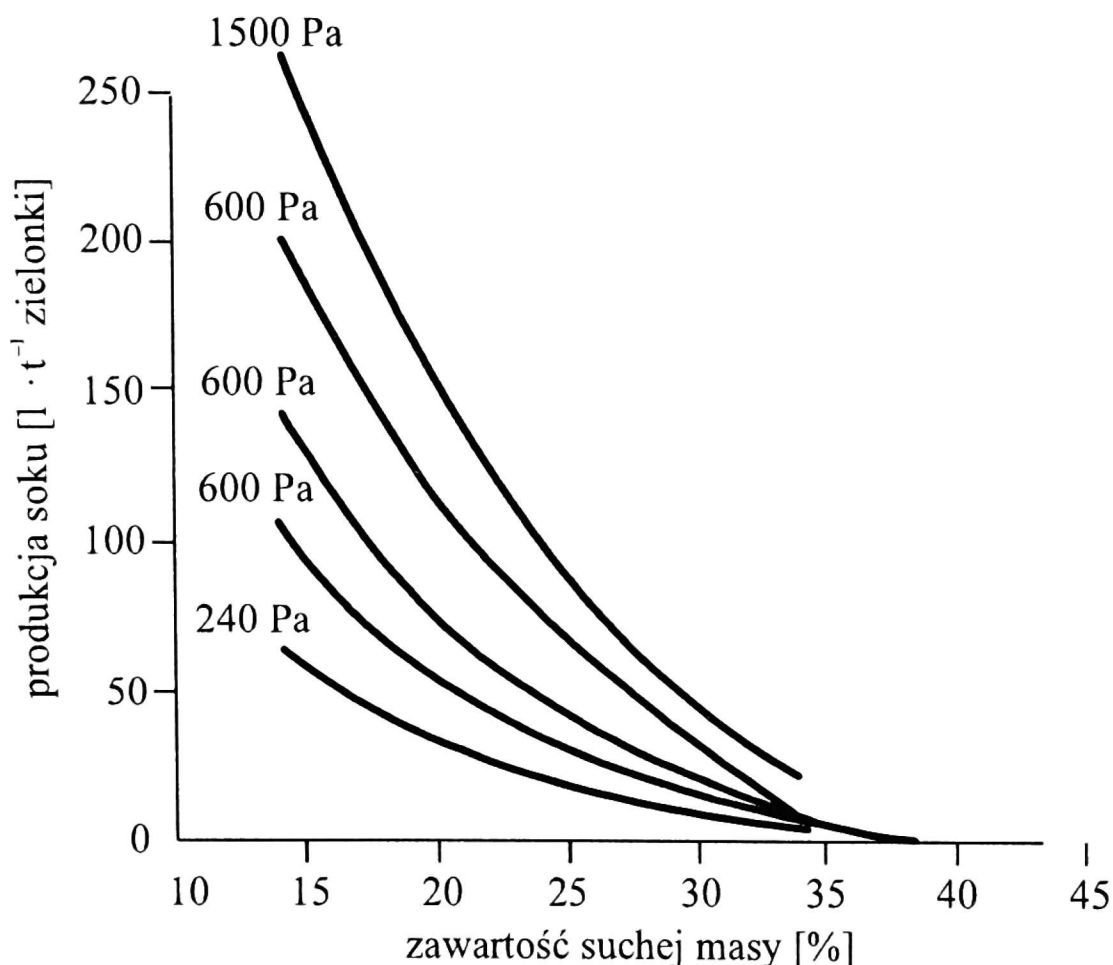
Tabela 1. Ilość wypływających soków kiszonkowych [$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ zakiszanej paszy] w zależności od typu silosu i zawartości suchej masy w zielonce z traw

Zawartość suchej masy w zakiszanej paszy [%]	Typ silosu								
	przejazdowy			wieżowy					
	wysokość składowanej paszy [m]								
	2	3	4	5	6	14	16	18	
14	196	259	303	339	368	477	501	523	
16	150	213	257	293	322	431	455	477	
18	104	167	211	247	277	386	410	431	
20	58	122	165	201	231	340	364	385	
22	13	76	120	156	185	294	318	340	
24	0	30	74	110	139	248	272	294	
26	0	0	28	64	93	202	226	248	
28	0	0	0	18	48	157	181	202	
30	0	0	0	0	2	111	135	156	
32	0	0	0	0	0	65	89	111	
34	0	0	0	0	0	19	43	65	
36	0	0	0	0	0	0	0	19	
38	0	0	0	0	0	0	0	0	

pokarmowych. Stwierdzenie to może dotyczyć jedynie konserwowanego materiału, który nie był poddawany intensywnemu procesowi zagęszczenia. Odnosi się zatem do paszy formowanej w duże bele cylindryczne i prostopadłościennne oraz do zielonki zgromadzonej w silosie przejazdowym o wysokości nie przekraczającej 5 m [14, 24, 25, 26]. W przypadku wysokich silosów wieżowych, gdzie dolne partie paszy są poddawane dużym obciążeniom, występuje znaczne wypływanie soków kiszonkowych nawet z materiału o zawartości suchej masy przekraczającej 30% (tab. 1). Podaje się wtedy, że dolne partie materiału w takim silosie nie powinny charakteryzować się wilgotnością większą niż 55%.

Budowę modelu matematycznego opracowanego przez Reynoldsa i Williamsa [33] oparto na wynikach badań dotyczących ilości soków wypływających w silosie o średnicy 8,18 m i wysokości 4 m. Ilość otrzymywanych soków kiszonkowych uzależniono od zawartości suchej masy w konserwowanym materiale oraz od ciśnienia, jakiemu poddano paszę w silosie. Z zależności przedstawionych na rysunku 4 wynika, że z paszy poddawanej dużemu ciśnieniu wypływają soki nawet wtedy, gdy zawartość suchej masy w konserwowanym materiale przekracza 35%.

Pitt i Parlange [30] stwierdzają, że ilość soków wypływających z zakiszanej paszy może być przedstawiona w funkcji dwu zmiennych: zawartości suchej masy w kiszonce oraz ciśnienia, jakiemu jest poddawany konserwowany materiał. Propono-



Rysunek 4. Produkcja soku kiszonkowego w funkcji zawartości suchej masy oraz ciśnienia, jakiemu była poddawana konserwowana zielonka

wany przez nich model uwzględnia liniową zależność pomiędzy zmienną zależną a zmiennymi niezależnymi:

$$Q_{\text{wyp}} = d \frac{P - P_s}{b}$$

gdzie: P — ciśnienie, jakiemu poddano zakiszaną paszę [Pa],

P_s — ciśnienie powodujące „stan nasycenia” [Pa],

b — współczynnik określający właściwości konserwowanej paszy [Pa].

Występujący w tym równaniu symbol P_s oznacza maksymalną wartość ciśnienia (jakiemu poddano kiszoną paszę), którego przekroczenie powoduje wypływanie soków. Początkowy etap zagęszczania konserwowanej paszy wpływa na zmniejszanie przestrzeni pomiędzy jego „makrocząsteczkami”. Mamy wtedy do czynienia głównie ze zmniejszaniem porowatości kiszzonego materiału. Dalsze zagęszczanie w coraz większym stopniu wpływa na przestrzenie wewnątrz komórek (mikropory) konserwowanej paszy, które w znacznym stopniu są wypełnione sokami. Po przekroczeniu granicznej wartości ciśnienia P_s , mikropory nie są w stanie „zatrzymać” soku komórkowego i rozpoczyna się proces jego wypływania. Dalsze zmniejszanie porowatości

intensyfikuje ten proces, czego końcowym efektem jest wypływanie soku na zewnątrz zakiszanego materiału.

Wartość P_s może być obliczona według zależności:

$$P_s = \frac{1}{B} \left(\frac{10}{\frac{w_0}{100 - w_0} + 0,6} - 1 \right)$$

gdzie: B — współczynnik ściśliwości objętościowej [Pa^{-1}],

w_0 — początkowa wilgotność kiszonki [%].

Na szczególną uwagę zasługuje zależność opracowana przez Tanga, Jofrieta i LeLievre'a [36, 37]:

$$Q_{v, \text{wyp}} = k \cdot M_k \cdot \ln \frac{\gamma}{\gamma_s}$$

gdzie: k — współczynnik określający materiał zakiszany,

M_k — całkowita masa kiszonki [t],

γ — gęstość kiszonki [$\text{kg s.m.} \cdot \text{m}^{-3}$],

γ_s — gęstość kiszonki w „stanie nasycenia” [$\text{kg s.m.} \cdot \text{m}^{-3}$],

$\gamma_s = 961 - 9,92 w$,

w — wilgotność kiszonki [%].

Ostatnie z wymienionych równań na określenie gęstości kiszonki γ_s zostało opracowane na podstawie wyników badań, które dotyczyły kiszenia zielonki z lucerny oraz siewki z całych roślin kukurydzy (Kanada). Natomiast badania prowadzone w Szwecji obejmowały zielonkę z traw, siewkę z całych roślin kukurydzy oraz wysłodki z buraków cukrowych.

Podsumowanie

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury należy stwierdzić, że o ilości soków wypływających z konserwowanej paszy decyduje przede wszystkim jej wilgotność. Straty suchej masy będące wynikiem tego procesu mogą wynosić nawet 10%, jeśli wilgotność zakiszanego materiału przekracza 85%. Wielkość tych strat maleje wraz ze wzrostem zawartości suchej masy w konserwowanym materiale. 30% zawartość suchej masy w zakiszanej zielonce (duże beły cylindryczne i prostopadłościennne, silos przejazdowy) eliminuje już praktycznie wypływanie soków. Natomiast kiszeniu takiej paszy w wysokich silosach wieżowych towarzyszą nadal straty powodowane wydzielaniem soków kiszonkowych.

Duże dawki nawożenia azotowego i potasowego stosowane przy uprawie roślin przeznaczonych do kiszenia powodują intensywniejsze wypływanie soków z konserwowanej paszy. Podobne skutki powoduje kwas mrówkowy, stosowany jako środek stymulujący proces fermentacji w kiszanej paszy o małej zawartości suchej masy.

Analizowane modele matematyczne opisujące straty powodowane wypływaniem soków z kiszzonek mają zwykle charakter formuł empirycznych. Nie pozwalają one jednak na dokładne opisywanie modelowanego procesu, gdyż uwzględniają tylko niektóre czynniki decydujące o ilości soków wypływających z zakiszanej paszy.

Literatura

- [1] Bastiman B., Altman J.B.F. 1985. Losses at various stages of silage making. *Research and Development in Agriculture* 2: 19–25.
- [2] Bellman H.E. 1978. Density — pressure — seepage relationships of whole plant corn (*Zea mays L.*) silage. *Can. Agricultural Engineering* 20(1): 45–52.
- [3] Castle M.E., Watson J.N. 1973. The relationship between the dm content of herbage for silage making and effluent production. *J. of the British Grassland Society* 28(3): 135–138.
- [4] Corrall A.J., Heather D. St. C. Neal, Wilkinson J.M. 1982. Silage in milk production. Technical Raport N^o 29. Grassland Research Institute, Hurley: 86.
- [5] Ferris C.P., Mayne C.S. 1994. The effects of incorporating sugar — beet pulp with herbage at ensiling on silage fermentation, effluent output and in — silo losses. *Grass and Forage Science* 49(2): 216–228.
- [6] Fisher L.J., Pennells G.C.L., Shelford J.A. 1984. The effect of the additive „Silogen” on the intake and digestibility of grass silage. *Can. J. of Anim. Sci.* 64(3): 709–715.
- [7] Fisher L.J., Zurcher P., Shelford J.A., Skinner J. 1981. Quantity and nutrient content of effluent losses from ensiled high moisture grass. *Can. J. of Plant Sci.* 61(2): 307–312.
- [8] Frost J.P., Poots R., Knight A., Gordon F.J., Long F.N.J. 1995. Effect of forage matting on rate of grass drying, rate of silage fermentation, silage intake and digestibility of silage by sheep. *Grass and Forage Science* 50(1): 21–30.
- [9] Fychan R., Jones R. 1996. Effect of varying film wrap width and layering on effluent production from baled silage. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 88–89.
- [10] Fychan R., Jones R. 1996. The effect of harvesting technology on silage quality and effluent production. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 218–219.
- [11] Haig P.M. 1994. A review of agronomic factors influencing grass silage effluent production in England and Wales. *J. of Agric. Engineering Research* 57(2): 73–87
- [12] Haig P.M. 1998. Effect of additives on grass silage fermentation and effluent production, and on intake and liveweight change of young cattle. *J. of Agric. Engineering Research* 69(2): 141–148.
- [13] Haig P.M. 1997. Silage dry matter content and predicted effluent production in England and Wales 1984–1994. *J. of Agric. Engineering Research* 66(1): 63–77.

- [14] Hart C., Bosma A.H. 1979. Silage tower silos: capacities and silage pressures. Proceedings of a Conference on „Forage Conservation in the 80's”. 27–30 November. Brighton UK, 289–293.
- [15] Jambor V. 1996. The effects of absorbents on the fermentation of lucerne silage. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 216–217.
- [16] Jones D.L.H., Jones R. 1995. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. *J. of Agric. Engineering Research* 60(2): 73–81.
- [17] Keady T.W.J., O’Kiely P. 1996. The effects of potassium and nitrogen fertilisation and formic treatment on silage composition, in — silo losses and feeding value. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 128–129.
- [18] Knabe O., Fechner M., Weise G. 1986. Verfahren der Silageproduktion. *VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin* s. 300.
- [19] Lloyd J.D., Jones R. 1996. The effect of silage effluent percolation through soil on biochemical oxygen demand and chemical composition. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 220–221.
- [20] McDonald P. 1981. The biochemistry of silage. John Wiley & Sons. Chichester–New York–Brisbane–Toronto.
- [21] McGechan M.M. 1990. A review of losses arising during conservation of grass forage: part 2, storage losses. *J. of Agric. Engineering Research* 45(1): 1–30.
- [22] Messer H.J.M., Hawkins J.C. 1977. The influence of moisture content and chop length of forage maize on silage bulk density and the pressure on silo walls. *J. of Agric. Engineering Research* 22(2): 175–182.
- [23] Miller W.J., Clifton C.M. 1965. Relation of dry matter content in ensiled material and other factors to nutrient losses by seepage. *J. of Dairy Sci.* 48(7): 917–923.
- [24] Negi S.C., Jofriet J.C. 1984. Lateral pressures in farm tower silos. *Transactions of ASAE* 27(2): 487–490.
- [25] O’Donnell C., Williams A.G., Biddlestone A.J. 1996. Juice release from grass. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 214–215.
- [26] O’Donnell C., Williams A.G., Biddlestone A.J. 1997. The effects of pressure and stage of ensilage on the mechanical properties and effluent production potential of grass silage. *Grass and Forage Science* 52(1): 12–26.
- [27] O’Kiely P. 1990. Factors affecting silage effluent production. *Farm and Food Research* 21(2): 4–6.
- [28] Patterson D.C., Mayne C.S., Gordon F.J., Kilpatrick D.J. 1997. An evaluation of an inoculant/enzyme preparation as an additive for grass silage for dairy cattle *Grass and Forage Sci.* 52(3): 325–335.
- [29] Peters G., Weissbach F. 1977. Factors influencing the formation of effluent in forage ensiling. XIII International Grassland Congress, Leipzig, 18–27 May. vol. II pp. 1333–1335.
- [30] Pitt R.E., Parlange I.Y. 1987. Effluent production from silage with application to tower silos. *Transactions of the ASAE* 30(4): 1198–1204 i 1208.
- [31] Podkówka W. 1979. Nowoczesne metody kiszzenia pasz. PWRiL. Warszawa, s. 378.
- [32] Randby A.T. 1997. Quality of silage and silage effluent as influenced by storage of effluent in tower silos. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 47(1): 9–19.

- [33] Reynolds A.M., Williams A.G. 1995. A model of silage consolidation and effluent flow. *J. of Agric. Engineering Research* 61(3): 173–182.
- [34] Savoie P. 1995. Probability estimation of silage effluent from horizontal silos. *Can. Agric. Engineering* 37(1): 49–56.
- [35] Sutter A. 1967. Problem of waste effluent from silage making and feeding of silage. *The European Productivity Agency for the Organization for European Economic Co-operation* 307: 74–82.
- [36] Tang J., Jofriet J.C., LeLievre B. 1988. A saturation criterion for ensiled plant materials. *Can. Agric. Engineering* 30(1): 93–98.
- [37] Tang J., Jofriet J.C., LeLievre B. 1988. Juice flow from silages. *Can. Agric. Engineering* 30(1): 99–106.
- [38] Williams A., Reynolds A. 1996. Silage consolidation and effluent flow. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 84–85.
- [39] Winters A.L., Fychan R., Jones R. 1996. Nitrogen losses in silage effluent. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 70–71.
- [40] Wyss U. 1996. Effluent losses in maize silages. Proceedings of the XIth International Silage Conference, 8th–11th September, Aberystwyth: 212–213.
- [41] Zimmer E. 1967. Des Anwelken in Seinen die Bildung von Gargasen. *Tagungsberichte der Deutschen Akademie für Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin* 92: 37–47.

Losses at silage production caused by the effluents

Key words: silage making, silage quality, silage effluent

Summary

Data from literature regarding silage quality and storage losses caused by the effluents were reviewed, compared and analysed. The dry matter content in ensiled crop was an important factor affecting effluent production. It was found that the additive of formic acid to conserved green crop increased the effluent of juice from silage. Information on effluent losses was consistent across a number of sources; it could be summarized as a simple relationship between losses percentage and dry matter content.

*Adres do korespondencji:
dr hab. inż. Janusz Nowak
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Akademia Rolnicza
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin*