

ACTA AGROPHYSICA



**Janusz Nowak, Małgorzata Bzowska-Bakalarz,
Wojciech Przystupa**

**STRATY POŁOWE W PRODUKCJI
SIANA I KISZONEK**

**pod redakcją
Janusza Nowaka**

144

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny (p.o.)
Józef Horabik

Sekretarz Redakcji
Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN – przewodniczący

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

Opiniował do druku

Prof. dr hab. Edmund Dulcet

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: w.wozniak@ipan.lublin.pl
<http://www.ipan.lublin.pl>

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents – Life Sci. w sieci Internet
pod adresem <http://psjc.icm.edu.pl>

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2007

ISSN 1234-4125

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 200, egz. Ark. 14,14
Skład komputerowy: Agata Woźniak, Wanda Woźniak
Druk: Drukarnia ALF-GRAF, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	5
1. WSTĘP	7
2. WPŁYW WYSOKOŚCI KOSZENIA NA ILOŚĆ I JAKOŚĆ ZBIERANYCH PASZ ZIELONYCH	8
3. STRATY POWODOWANE ODDYCHANIEM SKOSZONYCH ROŚLIN	28
3.1. Czynniki wpływające na straty oddychania	28
3.2. Modele matematyczne strat oddychania	47
4. STRATY POWODOWANE OPADAMI DESZCZU	54
4.1. Proces wtórnego nawilgacania pasz opadami deszczu	55
4.1.1. Model skupiony nawilgacania paszy	59
4.1.2. Model rozdzielony nawilgacania paszy	59
4.1.3. Wyniki symulacji komputerowych	62
4.2. Czynniki wpływające na straty wymywania	69
4.3. Modele matematyczne strat powodowanych deszczem	82
5. STRATY POWODOWANE PRZEZ MASZYNY	88
5.1. Straty powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną	90
5.1.1. Czynniki wpływające na straty	90
5.1.2. Modele matematyczne strat	114
5.2. Straty powodowane roztrząsaniem, przetrząsaniem i zgrabianiem	118
5.2.1. Właściwości mechaniczne liści traw	118
5.2.2. Czynniki decydujące o stratach	121
5.2.3. Modele matematyczne strat powodowanych roztrząsaniem, przetrząsaniem i zgrabianiem	133
5.3. Straty powodowane maszynami zbierającymi	140
5.3.1. Czynniki warunkujące powstawanie strat	140
5.3.2. Modele matematyczne strat powodowanych maszynami zbierającymi	153
6. PODSUMOWANIE	156
7. PIŚMIENNICTWO	167
8. STRESZCZENIE	182
9. SUMMARY	183

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

a – współczynnik proporcjonalności,
 $s.m.$ – sucha masa,
 $d.m.$ – dry matter,
 $s.o.$ – substancja organiczna,
 m – wilgotność względna (%),
 T – temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
 t – czas (h),
 γ – gęstość powierzchniowa pokosu ($\text{kg s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$),
 r – opady deszczu (mm),
 Q_{odd} – natężenie oddychania ($\text{mg CO}_2\cdot\text{g}^{-1} \text{ s.m.}\cdot\text{h}^{-1}$),
 S_w – straty wymywania (%),
 $S_{w(i)}$ – straty wymywania i -tego składnika (%),
 S_k – straty koszenia (%),
 S_{wyk} – straty wykuszania (%),
 S_{przet} – straty przetrząsania (%),
 S_{zgr} – straty zgrabiania (%),
 S_p – straty powodowane zespołem podbierającym (%),
 S_f – straty powodowane zespołem formowania beli (%),
 S_{od} – natężenie strat oddychania ($\% \text{ s.m.}\cdot\text{h}^{-1}$),
 S_{oddz} – dzienne straty substancji organicznej (%),
 S_s – straty ścierniskowe (%).

1. WSTĘP

Jednym z ważniejszych czynników intensyfikacji produkcji zwierzęcej jest zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości pasz objętościowych, a w szczególności siana i kiszzonek. Pasze te poza dostarczaniem składników pokarmowych spełniają również istotne funkcje ułatwiające trawienie u przeżuwaczy. Poprzez korzystny wpływ na motorykę żwacza, a także na intensywność przeżuwania i wydzielania śliny, zapewniają warunki utrzymania w żwaczu odpowiedniej dynamiki procesów fermentacyjnych, które mają decydujący wpływ na strawność pobieranych składników pokarmowych (Dernedde i Wilschmen 1969, Gieroba i Nowak 1983, Podkówka i in. 1984, Watson i Nash 1971, Wilkinson 2005). Pasze te należą do najważniejszych w żywieniu przeżuwaczy i koni. Rola siana w żywieniu cieląt polega głównie na stymulowaniu rozwoju układu trawiennego. Powyższe względy decydują o tym, że nadal znaczną część zielonek przeznaczają się na produkcję siana, które w naszych warunkach klimatycznych, w okresie zimowym stanowi nadal podstawową paszę (Dulcet 2001, Falkowski 1983). W związku z tym istnieje potrzeba zwiększania plonów pasz zielonych oraz ograniczania strat w produkcji siana i kiszzonek (Barr i Brown 1995, Haigh 1994, Minakowski i in. 1978, Safta i in. 1969, Salo i Virtanen 1983).

Najbardziej newralgicznym ogniwem w produkcji siana jest konserwowanie, które ma na celu obniżenie zawartości wody do takiego poziomu, przy którym materiał można bezpiecznie przechowywać (Charlick i in. 1980, Nowak 1991, Podkówka 1998, Podkówka i in. 1984, Toussaint i Lambert 1973). Obecnie stosowane technologie nie są na tyle doskonałe, aby zupełnie były wyeliminowane straty wynikające z suszenia zielonek, zbioru i przechowywania siana. Niemniej jednak, umiejętne stosowanie zabiegów agrotechnicznych może dać poważne rezultaty w obniżaniu strat w całym procesie produkcyjnym (Berg i Thimm 1987, Del Duca i in. 1999, Friesen 1979, Gieroba i in. 1995, Jankowska-Hufleit i in. 1996).

Istnieje potrzeba prowadzenia prac nad zwiększaniem plonów pasz pochodzących z użytków zielonych oraz ograniczeniem strat składników pokarmowych, które powstają w wyniku opóźnionych zbiorów, niewłaściwej konserwacji oraz przechowywania lub nieprawidłowego doboru technologii (Black i Alexander 1967, Burger i in. 1962, Jones 1983, Jones i Lazenby 1988, Lawrence 1973).

Celowy zatem wydaje się przegląd wyników badań prowadzonych przez ośrodki naukowo-badawcze wielu krajów, a dotyczący źródeł powstawania strat podczas polowego suszenia zielonek przeznaczanych na siano lub produkcję kiszzonek.

Celem pracy jest analiza przyczyn ubytków suchej materii i strat składników pokarmowych, które powstają w procesie produkcji siana i kiszzonek.

Zakres pracy obejmuje analizę strat powodowanych:

- oddychaniem skoszonych roślin,
- wylugowaniem przez deszcz,
- oddziaływaniem mechanizmów roboczych stosowanych maszyn (kosiarki, przetrząsaczo-zgrabiarki, odwracacze pokosów, maszyny zbierające).

2. WPŁYW WYSOKOŚCI KOSZENIA NA ILOŚĆ I JAKOŚĆ ZBIERANYCH PASZ ZIELONYCH

Wysokość i częstotliwość koszenia decyduje często o trwałości użytków zielonych oraz ich produkcyjności, która oznacza zdolność osiągania plonu biomasy użytecznej (Cilliers i in. 1995, Curran i Posch 2000, Filipek 1968, Listowski 1985, Tomka 1983). Pozyskiwana biomasa powinna się cechować dobrą jakością zapewniającą uzyskanie korzystnego wskaźnika jej przetworzenia w produkty pochodzenia zwierzęcego (Holmes 1989, Kadzulis 1983, Moraczewski 1986, Toussaint i in. 1988, Zastawny 1993). Zbyt niskie koszenie przynosi tylko pozorne korzyści w postaci większej ilości zbieranej zielonki z jednostki powierzchni (Binnie i Chestnutt 1990, Binnie i in. 1980, Binnie i Harrington 1972, Binnie i in. 1974, Cherney i Cherney 2005, Clark i in. 1974, Nowak 1992, Olszewska 1971, Stroh i Law 1967). Pozbawia ono jednak trawy znacznych ilości liści odziomkowych i ścierni, które zawierają dużo substancji zapasowych potrzebnych roślinom do wtórnego odrastania i odbudowy aparatu asymilacyjnego (Binnie i in. 1980, Black i Alexander 1967, Bonesmo 2000, Podkówka 1998, Skrzyniarz 1981). Powoduje także znaczne zmniejszenie natężenia procesu fotosyntezy w początkowym okresie odrostu. Wpływa ujemnie na wzrost roślin po pierwszym koszeniu (Curl i Davidson 1983, Del Duca i in. 1999, Gonzalez i in. 1989, Lawrence 1973, Milthorpe i Moorby 1979).

Dobór właściwej wysokości koszenia pozwala z jednej strony na utrzymanie w dobrym stanie plantacji, a z drugiej strony na uzyskanie wysokich planów w okresie wegetacji (Avice i in. 1997, Bell i Ritchie 1989, Davies 1974, Donaghy i Fulker-son 1997, King i in. 1997).

Ilość zbieranej paszy zielonej zależy bezpośrednio od wysokości koszenia, a także od charakteru rozkładu masy roślin wzdłuż ich wysokości (Barthram i in. 2000, Buxton i in. 1985, Del Pozo i Osoro 1997, Dębska-Kalinowska 1994, Elliott i in. 1974). Wyniki licznych badań wykazały, że masa nadziemnych części roślin paszowych ma bardzo zróżnicowany rozkład wzdłuż roślin, o czym decyduje wiele czynników (np. faza rozwojowa i wysokość rośliny, zagęszczenie łąny, warunki siedliskowe, nawożenie) (Gibb 1991, Jelinowska i Magnuszewska 1997, Thorvaldsson 1989, Wilkinson i in. 1970, Wilman i Shrestha 1985, Woledge i in. 1992).

Koszenie koniczyny czerwonej (tab. 1) na wysokości 6 cm nad powierzchnią gleby powodowało pozostanie 6,3% ogólnej masy części nadziemnych roślin w postaci ścierniska (dla średniej wysokości roślin 58 cm). Względna ilość tych strat jest znacznie wyższa, jeśli rośliny były koszone nisko (P Źnovskij i Romanovič 1979).

Koszenie roślin trawiastych na wysokości większej niż 8 cm przyczyniło się, pomimo dużej wysokości traw (82 cm), do pozostawienia znacznej części zielonej masy w formie ścierniska (około 26%). Świadczy to o dużym zagęszczeniu runi łąkowej w niżej położonych partiach. Na podkreślenie zasługują również dane dotyczące perzu, którego dolne partie runi (0-8 cm) stanowiły aż 29% masy nadziemnej, a udział frakcji położonej najniżej od powierzchni pola (0-2 cm) był największy.

Tabela 1. Rozkład masy (%) nadziemnej części roślin wzdłuż ich wysokości (P Źnovskij i Romanovič 1979)

Table 1. Distribution of mass (%) of above-ground plant parts according to plant height (P Źnovskij and Romanovič 1979)

Rodzaj runi Sward kind	Wysokość roślin Plant height (cm)	Położenie warstwy runi nad powierzchnią gleby Position of sward layer above ground (cm)			
		0-2	2-4	4-6	6-8
Koniczyna czerwona (<i>Trifolium pratense</i> L.)	58	2,0	2,1	2,2	2,4
Red clover	37	5,5	6,4	4,6	5,3
Koniczyna biało-różowa (<i>Trifolium hybridum</i> L.)	52	3,7	3,2	2,9	2,8
White-pink clover	30	7,2	6,7	6,3	5,9
Mieszanka traw Grasses mixture	82	2,9	6,3	8,8	7,9
Perz na ugorze Couch-grass on fallow	55	9,0	7,0	7,0	6,0

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań strat spowodowanych zróżnicowaną wysokością koszenia (straty ścierniskowe) (P Źnovskij i Romanovič 1979). Z danych tych wynika, że zwiększeniu wysokości koszenia powyżej 6-7 cm nad powierzchnię gruntu towarzyszy znaczny wzrost strat ścierniskowych. Przy najwyższej wysokości koszenia straty wynosiły 36% masy plonu, który był bardzo niski – w jednej z grup prowadzonego doświadczenia (łąka naturalna) wynosił zaledwie 10,1 dt·ha⁻¹ przy wysokości koszenia 4,5 cm. Świadczy to o tym, że koszone rośliny były niskie, a pozostawienie wysokiego ścierniska (10,5 cm) bardzo wyraźnie wpłynęło na obniżenie ilości zebranej masy roślinnej.

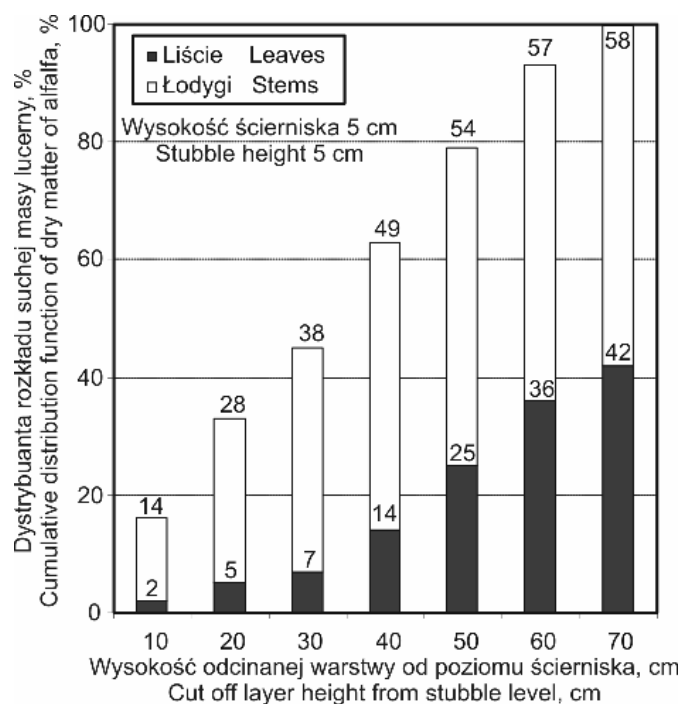
Tabela 2. Zestawienie ilości zebranego siana i strat wynikających ze zróżnicowanej wysokości koszenia (P ůnovskij i Romanovič 1979)

Table 2. Hay yield and losses according to different cutting heights (P ůnovskij and Romanovič 1979)

Średnia wysokość koszenia Average cutting height (cm)	Zebrany plon Yield (dt·ha ⁻¹)	Straty ścierniskowe Stubble losses (%)
Łąka zalewowa – Flood-meadow		
4,8	31,3	–
7,0	28,8	8,0
9,6	25,8	17,6
Tymotka łąkowa – Timothy		
5,0	56,8	6,0
8,0	51,2	13,2
10,0	48,8	18,3
Koniczyna czerwona + tymotka łąkowa – Red clover + timothy		
4,5	15,0	–
6,5	13,0	11,0
8,5	11,2	25,0
10,5	9,8	35,0
Łąka naturalna – Native meadow		
4,5	10,1	–
6,5	9,2	9,0
8,5	8,7	14,0
10,5	6,5	36,0
Kupkówka pospolita – Cocksfoot		
5,0	40,0	6,0
8,0	51,2	13,2
10,0	48,8	18,3

Bardzo interesujące badania były prowadzone przez Downsa i Taylora (1989). Dotyczyły one rozkładu: suchej masy całego plonu i zawartości poszczególnych składników pokarmowych w lucernie wzdłuż wysokości roślin. Materiał przeznaczony do analiz, zbierany w dwu fazach rozwojowych (I – początek kwitnienia, II – około 50% widocznych kwiatostanów) ścinano na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu, a następnie cięto go na odcinki o długości 10 cm. Stanowiły one frakcje

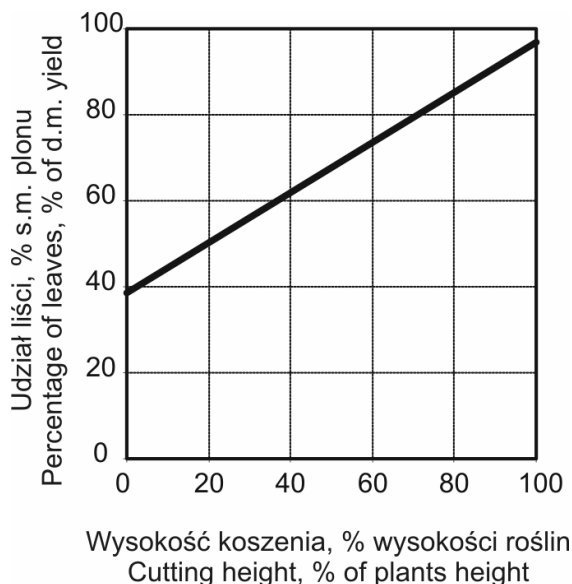
wyodrębnione na podstawie miejsca położenia względem nieskoszonej części (ścierniska). W każdej tak przygotowanej grupie określono oddzielnie udział suchej masy liści i łodyg. Z informacji zamieszczonych na rysunku 1 wynika, że sucha masa liści stanowiła około 42% suchej masy plonu pochodzącego z roślin będących w początkowej fazie kwitnienia, które koszone na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu.



Rys. 1. Dystrybuanta rozkładu suchej masy łąny lucerny (Downs i Taylor 1989)

Fig. 1. Cumulative distribution function of sward dry matter of alfalfa (Downs and Taylor 1989)

Należy również dodać, że partia zielonki składająca się z części roślin najniżej położonych (5-15 cm) zawierała nieznaczne ilości liści, a jej udział w suchej masie plonu wynosił około 16%. Świadczy to o dużym zagęszczeniu łąny lucerny w tej strefie. Informacja ta nabiera jeszcze większego znaczenia, jeśli uwzględni się znaczną wysokość roślin, która w warunkach prowadzonego doświadczenia wynosiła 75 cm. W materiale pochodzącym z górnej połowy runi przeważał udział liści (rys. 2).



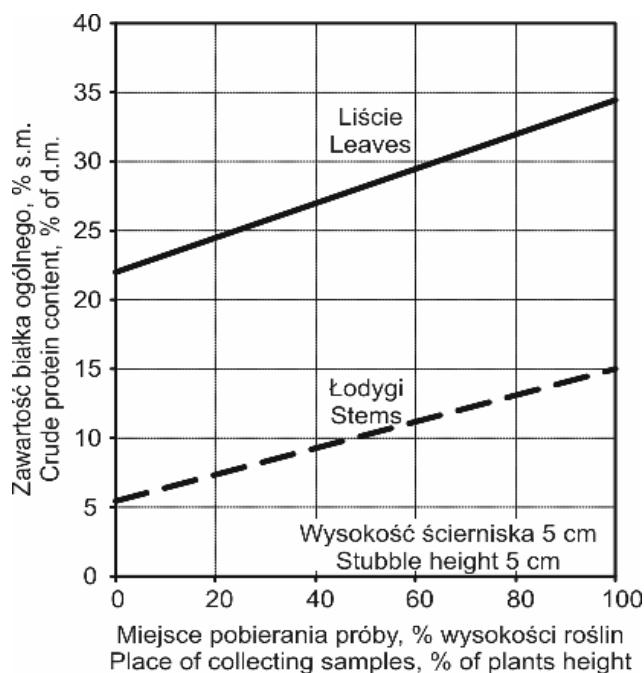
Rys. 2. Udział suchej masy liści w plonie zielonki z lucerny w zależności od względnej wysokości koszenia roślin (Downs i Taylor 1989)

Fig. 2. Percentage of dry leaves matter in yield of alfalfa green fodder in relation to relative cutting height (Downs and Taylor 1989)

Z zależności przedstawionych na rysunku 3 wynika, że najniżej położone części lucerny zawierają stosunkowo małe ilości białka ogólnego (9% dla fazy rozwojowej z około 50% ilością widocznych kwiatostanów i 13% białka dla początku pączkowania). Natomiast górne części roślin, a zwłaszcza te, które znajdują się powyżej 60% ich wysokości, zawierają ponad 25% białka ogólnego w suchej masie. O takim rozkładzie zawartości białka decydują trzy czynniki: pierwszy z nich to znaczny udział liści w tych partiach roślin lucerny, drugi wynika z dużej zawartości białka ogólnego w liściach pochodzących z najwyższej położonych części roślin (powyżej 30%), a trzeci czynnik związany jest z wysoką zawartością białka w łądygach (12-16%).

Zupełnie inny jest rozkład zawartości włókna surowego (rys. 4). Dolne partie analizowanej paszy charakteryzowały się bardzo dużą zawartością tego składnika (od 50 do 27%) na wysokości około 35 cm, tj. do połowy długości roślin. Reasumując powyższe rozważania należy stwierdzić, że niskie koszenie lucerny przynosi korzyści w postaci większej ilości zebranego plonu, natomiast niewielkie pod względem składników pokarmowych. Mając na uwadze wyjątkowo dużą zawartość włókna, które jest głównym czynnikiem ograniczającym strawność paszy,

można uważać, że koszenie lucerny na większej wysokości pozwoli na uzyskanie lepszej jakości zielonki, siana lub suszu (Bruhn i Koegel 1977, Downs i Taylor 1989, Skrzyniarz 1981, 1990, Staszewski 1975).



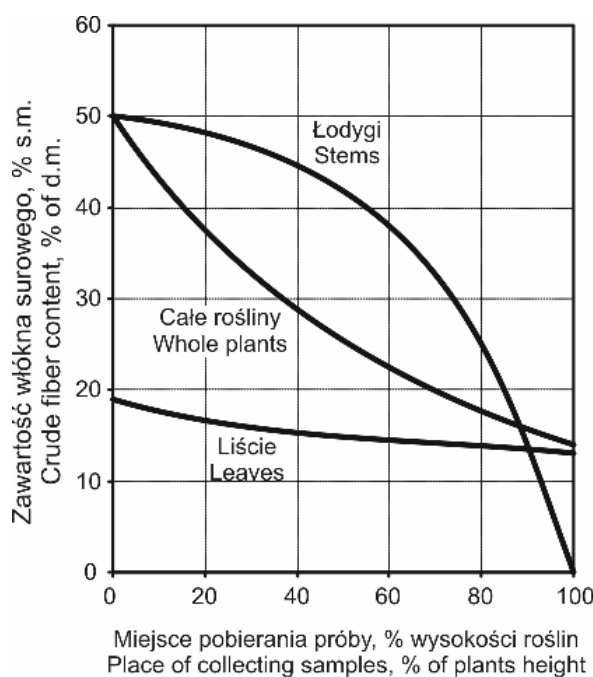
Rys. 3. Zawartość białka ogólnego w suchej masie liści i łodyg lucerny (początek kwitnienia) w zależności od miejsca pobierania prób (wysokości nad powierzchnią ścierniska) (Downs i Taylor 1989)

Fig. 3. Crude protein content in dry matter of leaves and stems of alfalfa (early bloom) versus place (height above stubble surface) of collecting samples (Downs and Taylor 1989)

Wyniki badań prowadzonych przez Skrzyniarz (1981) potwierdzają ten wniosek. Stwierdzono, że korzystniejsze cechy jakościowe miała lucerna koszona na wysokości 9 i 15 cm nad szyjką korzeniową w zestawieniu z roślinami koszonymi nisko – 3 cm (tab. 3).

Autorka wymienionego opracowania stwierdza, że wyższa jakość zebranego materiału roślinnego z poletek, na których stosowano wysokie koszenie, nie rekompensuje strat w ogólnym plonie suchej masy i białka ogólnego. Po bardziej wnikliwej analizie wyników badań zamieszczonych w tabeli 3 nasuwają się jednak pewne spostrzeżenia dotyczące wielkości uzyskanych plonów suchej masy

i białka ogólnego oraz zawartości określanych składników pokarmowych w zebranej paszy. Roczny plon suchej masy (wartość średnia dla trzech badanych odmian) uzyskany przy poszczególnych wysokościach koszenia okazał się bardzo wysoki. Podobnie przedstawia się plon białka ogólnego, zwłaszcza w pierwszym roku użytkowania lucerny odmiany (odmiana Kleszczewska $4,68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Uzyskanie tak wysokich plonów wynikało z dobrych warunków klimatycznych (obfite opady deszczu w całym okresie wegetacyjnym) i glebowych (mady średnie należące do kompleksu pszennego dobrego).



Rys. 4. Zawartość włókna surowego w lucernie w zależności od miejsca pobierania prób (Downs i Taylor 1989)

Fig. 4. Crude fibre content in alfalfa versus place of collecting samples (Downs and Taylor 1989)

Należy jednak podkreślić, że plony uzyskane z obiektów, w których ścinano rośliny na wysokości 9 cm lub 15 cm, w zestawieniu z plonami roślin ścinanych najniżej (3 cm) są stosunkowo wysokie. Stanowią one odpowiednio 91% i 84% wielkości uzyskanych przy koszeniu lucerny na wysokości 3 cm (pierwszy rok użytkowania). Zawartość analizowanych składników w paszy pochodzącej z różnych poziomów koszenia jest bardzo zbliżona, a w znacznej części jest taka sama. Uwagi te dotyczą wyników zestawianych w obrębie poszczególnych odmian.

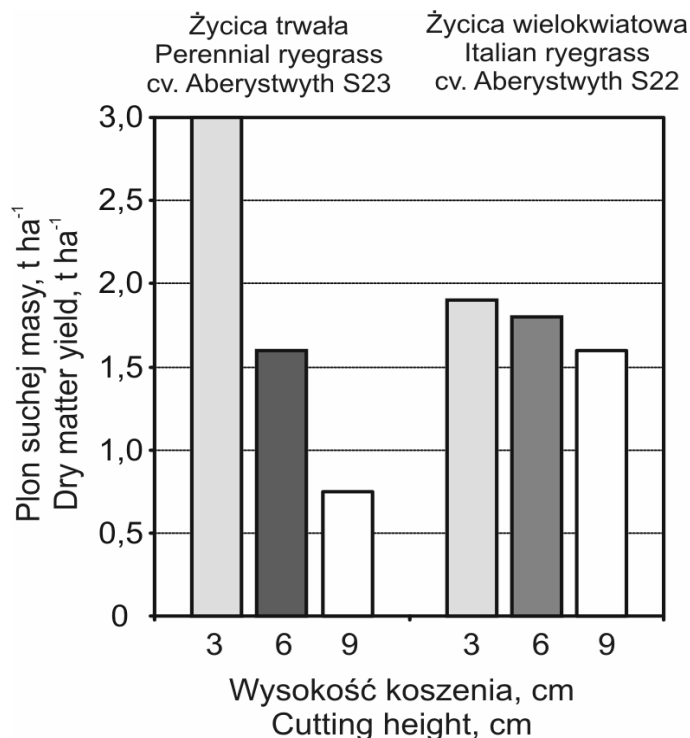
Opracowania wielu innych badaczy (Downs i Taylor 1989), (van Riper i Owen 1964), (Langer i Steinke 1965)), dotyczące tego samego zagadnienia związanego z lucerną, informują natomiast o znacznie większych różnicach w plonach suchej masy i białka ogólnego, wynikających z różnych wysokości koszenia. Badacze ci podkreślali również, że niższe partie łąnu lucerny charakteryzujące się znacznym zagęszczeniem, stanowią duży udział w ogólnej masie plonu.

Tabela 3. Plon i skład chemiczny zielonki z lucerny w zależności od wysokości koszenia (Skrzyniarz 1981)

Table 3. Yield and chemical composition of alfalfa green fodder in relation to cutting height (Skrzyniarz 1981)

Wyszczególnienie Item	Odmiana – Variety								
	Kleszczewska			Europe			Forma hodowlana z Troubska Breeding form from Troubska		
	Wysokość koszenia – Cutting height (cm)								
	3	9	15	3	9	15	3	9	15
Włókno surowe (% s.m.) Crude fibre (% d.m.)	29,3	27,2	27,2	28,7	28,1	27,3	28,6	28,5	27,1
Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	20,5	21,1	21,1	18,5	19,1	19,4	20,0	20,0	22,1
Plon białka ogólnego Yield of crude protein (t·ha ⁻¹)									
- I rok użytkowania - first year of utilization	4,68	4,42	4,12	4,48	3,93	4,08	3,52	3,34	3,32
- II rok użytkowania - second year of utilization	4,09	3,68	3,37	3,79	3,69	3,21	3,14	3,02	2,76
- razem - total	8,77	8,10	7,49	8,27	7,62	7,29	6,66	6,36	6,08
Względne plony białka Relative protein yield	100	92	85	100	92	88	100	99	91

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki prowadzonych przez Ollerenshawa i Hodgsona (1997) badań plonu suchej masy życicy trwałej odmiany Aberystwyth S.23 i życicy wielokwiatowej odmiany Aberystwyth S.22 w zależności od wysokości koszenia.



Rys. 5. Plon suchej masy (pierwszy pokos) życicy trwałej i życicy wielokwiatowej w zależności od wysokości koszenia (Ollerenshaw i Hodgson 1997)

Fig. 5. Dry matter yield (first cut) of perennial ryegrass and Italian ryegrass versus cutting height (Ollerenshaw and Hodgson 1997)

Dane te odnoszą się do ilości zebranej masy pierwszego pokosu w pierwszym roku użytkowania. Istnieją wyraźne różnice w charakterze rozkładu masy wzdłuż wysokości roślin pomiędzy badanymi gatunkami traw. Przy koszeniu życicy trwałej na wysokości 3 cm nad powierzchnią gleby uzyskano około 3 t·ha⁻¹ plonu, a stosując koszenie wysokie zaledwie 0,8 t·ha⁻¹. Świadczy to o tym, że przeważająca część suchej masy plonu pochodziła z części roślin mieszczących się na wysokości 3-9 cm od powierzchni pola. Z porównania zagęszczenia masy roślin na wysokości 3-6 cm i 6-9 cm wynika, że wyżej położone partie tworzyły bardziej zwartą ruń. Pozostawienie ścierniska o wysokości 9 cm bardzo poważnie obniżyło plon. Natomiast bardzo niewielkie różnice w plonach zaobserwowano w badaniach nad życicą wielokwiatową. Ilość suchej masy zebranej przy najwyższym koszeniu (9 cm) stanowiła około 87% plonu pochodzącego z obiektu, w którym stosowano niskie koszenie (3 cm). Głównym czynnikiem, który zdecydował

o tak zróżnicowanych wynikach badanych gatunków traw, była przede wszystkim wysokość roślin uzależniona od terminu koszenia (10 VI – życica trwała, 8 VII – życica wielokwiatowa). Należy również dodać, że stosowano jednakowe nawożenie wiosenne ($60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$ i $80 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) a ilość opadów atmosferycznych była stosunkowo niska w okresie kwiecień-czerwiec (suma opadów 150 mm, w maju tylko 29,3 mm).

Wyniki badań prowadzonych przez Burnsa (1970), poza oceną wpływu wysokości koszonej runi i częstotliwości defoliacji na plony suchej masy kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb. odmiany Kentucky 31), dotyczyły także charakteru rozkładu masy roślin w poszczególnych strefach poziomych. Pomiar przeprowadzono w drugim i trzecim roku użytkowania łąki. W okresie poprzedzającym badania, tzn. w pierwszym roku, przygotowano dwie grupy poletek, które nawożono jednakową dawką ($220 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $96 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, $184 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$), kosząc rosnące na nich rośliny 2- lub 3-krotnie. Na jednej części poletek stosowano niskie koszenie (na wysokości 5 cm), a rośliny z pozostałych poletek – na wysokości 10 cm. Taki sam wariant postępowania (na wymienionych poletkach) stosowano w drugim i trzecim roku użytkowania łąki. W latach tych zastosowano nawożenie azotowe w ilości $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ azotanu amonowego. Termin koszenia został wyznaczony terminem osiągnięcia odpowiedniej wysokości roślin (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm).

W tabeli 4 podano charakterystykę masy runi wzdłuż roślin, których średnia wysokość wynosiła 15 cm. Rośliny ścinano na trzech wysokościach 7,5 cm, 5 cm i 2,5 cm. Ten zabieg był wykonywany kosiarką rotacyjną, a do ścinania warstwy najniższej (0-2,5 cm) posłużono się nożem.

Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że najniżej położona warstwa runi o wysokości nie przekraczającej 5 cm nad powierzchnią gruntu stanowiła aż 66% suchej masy plonu zebranego w drugim roku użytkowania łąki. Pozostawienie ścierniska o wysokości stanowiącej jedną trzecią średniej wysokości roślin (do 5 cm) powoduje, że sucha masa zebranego plonu stanowi tylko około 52% masy znajdującej się poniżej poziomu defoliacji.

Na uwagę zasługują wyniki badań prowadzonych przez Wilkinsona, Adamsa i Jacksona (1970), które dotyczyły również rozkładu suchej masy w poziomo wydzielonych warstwach runi składającej się z trawy bermudzkiej (*Cynodon dactylon* L.). Trawę uprawiano na dwóch grupach poletek różniących się między sobą wielkością dostarczanych nawozów (I grupa: $224 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $98 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, $112 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ i II grupa: $1120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, $98 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, $560 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Nawożenie azotowo-potasowe stosowano w czterech terminach (19 IV, 31 V, 12 VII i 23 VIII), a nawóz fosforowy dostarczono w całości w kwietniu. Zbiór pokosów dokonano w odstępach 6-tygodniowych (tab. 5). Plon zebrany z poletek o większej dawce nawozów dzielono na pięć warstw o wysokości 10 cm, a mate-

riał pochodzący z drugiej grupy poletek (niższe dawki nawozów) dzielono też na pięć warstw, ale 7 centymetrowych. Za pierwszą warstwę uznano tę, która była najniżej położona (0-10 cm lub 0-7 cm). Warstwę szóstą (najwyżej położoną) stanowił materiał wchodzący w skład roślin o wysokości >50 cm (lub 35 cm).

Tabela 4. Charakterystyka poziomych warstw runi kostrzewy trzcinowej odmiany Kentucky 31 (Burns 1970)

Table 4. Characteristic of horizontal layers of tall fescue Kentucky 31 variety (Burns 1970)

Poziom warstwy Layer level (cm)	Plon (kg s.m.·ha ⁻¹) Yield (kg d.m. ha ⁻¹)	Strawność <i>in vitro</i> <i>In vitro</i> digestibility (%)	Plon składników strawnych Digestible components yield (kg·ha ⁻¹)	Popiół Ash (%)
0- 2,5	1400	31	434	13,9
2,5-5	1100	30	333	9,8
5-7,5	760	42	319	8,1
7,5-15	550	60	330	8,1

Tabela 5. Udział suchej masy poziomych warstw runi trawy bermudzkiej (*Cynodon dactylon* L.) w plonie całkowitym w zależności od poziomu nawożenia N-K i terminu zbioru (Wilkinson i in. 1970)

Table 5. Percentage of dry matter of level layers of Bermuda grass swath (*Cynodon cactylon* L.) in the total yield in relation to N-K fertilization rate and harvesting date (Wilkinson *et al.* 1970)

Numer warstwy Layer No.	Data zbioru – Harvesting date					
	12 VII		23 VIII		4 X	
	Nawożenie (kg (N-K)·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) – Fertilization (kg (N-K) ha ⁻¹ year ⁻¹)					
	224-112	1120-560	224-112	1120-560	224-112	1120-560
6	5,0	6,2	9,7	10,6	–	–
5	8,0	9,3	10,0	12,3	5,6	5,9
4	14,7	15,6	15,0	15,7	10,8	11,9
3	19,3	19,3	19,8	17,8	19,6	20,3
2	24,2	22,1	23,1	21,2	28,7	27,5
1	28,8	27,5	22,4	22,4	35,3	34,4

W tabeli 5 zestawiono wyniki badań dotyczących pionowego rozkładu suchej masy trawy bermudzkiej w zależności od poziomu nawożenia i terminu zbioru. Dane te informują, że dolne warstwy (1 i 2) trawy stanowią znaczny udział w ogólnej masie plonu części nadziemnych (od 43,6 do 64%).

Niższe wartości udziału suchej masy dolnych warstw runi występowały w materiale zbieranym 23 sierpnia. Dolne partie roślin zbieranych 4 października stanowiły około 63% plonu suchej masy (średnia dla dwu poziomów nawożenia).

O takim wyniku zdecydowały dwa czynniki. Pierwszy z nich to znaczne zagęszczenia runi w jej dolnych warstwach, natomiast drugi wynika z mniejszej wysokości koszonych roślin (materiał wchodzący w skład piątej warstwy stanowił około 5,7% plonu całkowitego). Autorzy analizowanych wyników badań stwierdzają, że dolne partie trawy bermudzkiej zawierają małą ilość białka, prawie dwukrotnie niższą niż w górnych partiach roślin (dla pokosu sierpniowego przy mniej intensywnym nawożeniu).

Ocena efektywności żywienia wysoko produkcyjnego bydła wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na jakość pasz objętościowych, a wśród nich kiszonek otrzymywanych z całych roślin kukurydzy (Dubas i Michalski 1991, Fulkerson i Winch 1963, Keller i Becker 1979, Maynard i Loosli 1967, Zastawny i in. 1997). Liczne wyniki badań wykazały, że jednym z podstawowych czynników warunkujących jakość kiszonki z tych roślin jest odpowiednia struktura surowca (Dubas 1974, Kennington i in. 2005, Kruczyńska i in. 2001, Neylon i Kung 2003, Tolera i in. 1998). Wyraża się ponad 40% udziałem kolb w ogólnym plonie suchej masy oraz wilgotnością zielonki nie wyższą niż 70%. Surowiec o wymienionych parametrach można uzyskać przy zbiorze roślin w pełnej dojrzałości ziarna. Wraz z dojrzewaniem kukurydzy zachodzą w niej korzystne zmiany chemiczne, które dotyczą wzrostu zawartości skrobi i suchej substancji z jednoczesnym obniżaniem się zawartości włókna. W wyniku tych zmian w składzie chemicznym roślin wzrasta plon jednostek energetycznych oraz wartość pastewna świeżej masy. Zakiszanie całych roślin kukurydzy zbieranej w pełnej dojrzałości ziarna (przy jednoczesnym dobrym ich rozdrobieniu) jest celowe ze względu na możliwość otrzymania wysokiej jakości kiszonki, która charakteryzuje się dużą koncentracją energii metabolicznej i niską zawartością azotu amoniakalnego (Dominguez i Satter 2003, Nowak 2002a, Nowak i Siuciak 1996, Wu i Roth 2001).

Jedną z metod poprawiania wartości paszowej zielonki z kukurydzy polega na zwiększaniu wysokości ścinania roślin. Pozostawianie wyższego ścierniska decyduje o korzystniejszym składzie użytecznej części plonu biologicznego, gdyż wzrasta w nim udział kolb i zmniejsza się zawartość węglowodanów strukturalnych. W wyniku takiego postępowania można uzyskać wysokoenergetyczną kiszonkę bez potrzeby nadmiernego opóźniania terminu zbioru (Cusicanqui i Lauer 1999, Di Marco i in. 2002, Dominguez i in. 2002, Dominguez i Satter 2003, Tolera i Sondstøl 1999). Eliminuje to często niekorzystne konsekwencje zbioru roślin w trudnych warunkach, które mają miejsce w okresie późnej jesieni.

Wyniki badań Lewisa, Coxa i Cherney'a (2004), zamieszczone w tabeli 6, potwierdzają korzystny wpływ większej wysokości ścinania roślin kukurydzy na jakość uzyskanego plonu. Pasza otrzymana z roślin odmiany TMF108, które koszone na wysokości 46 cm cechowała się znacznie korzystniejszym składem w porównaniu do zielonki pochodzącej z roślin ścinanych najniżej. Jest to szcze-

gólnie widoczne na przykładzie wzrostu udziału ziarna oraz zmniejszenia zawartości włókna neutralnego detergentowego.

Tabela 6. Plony i jakość zielonki z kukurydzy w zależności od odmiany mieszańcowej i wysokości koszenia (Lewis i in. 2004)

Table 6. Yield and quality of corn green fodder in relation to hybrid variety and cutting height (Lewis *et al.* 2004)

Wysokość koszenia Cutting height (cm)	Odmiana – Variety		
	34B23	TMF108	F757
Plon suchej masy – Dry matter yield (t·ha ⁻¹)			
15	14,3	14,7	13,5
30	14,4	14,2	12,1
46	13,1	14,1	11,6
Udział ziarna (% s.m.) – Percentage of grain (% d.m.)			
15	33,3	30,9	20,7
30	32,8	36,1	22,3
46	36,1	40,1	27,5
Zawartość włókna neutralnego detergentowego (% s.m.) Neutral detergent fibre content (% d.m.)			
15	40,5	44,0	41,9
30	40,8	41,6	42,4
46	40,3	40,8	39,5
Strawność włókna neutralnego detergentowego Digestibility of neutral detergent fibre (%)			
15	62,5	60,2	75,5
30	61,5	62,3	78,2
46	66,1	63,3	77,9
Zawartość skrobi (% s.m.) – Starch content (% d.m.)			
15	17,4	15,2	13,5
30	18,6	15,0	12,5
46	19,5	17,5	
Zawartość białka ogólnego (% s.m.) Crude protein content (% d.m.)			
15	8,1	7,6	8,2
30	8,1	7,5	8,2
46	8,1	7,4	8,2

Warto również zwrócić uwagę na fakt, że zwiększenie wysokości ścinania roślin tej odmiany z 15 cm do 46 cm wpłynęło nieznacznie na zmniejszenie uzyskanego plonu suchej masy – tylko o 0,6 t·ha⁻¹ (nie przekracza to 4,1% suchej masy

plonu roślin koszonych najniżej). Podane wielkości świadczą o małym zagęszczeniu dolnych partii łanu kukurydzy odmiany TMF108.

Wyniki innych badań informują o większej zależności pomiędzy plonem zielonej masy kukurydzy a wysokością koszenia roślin. Potwierdzają to dane zamieszczone w tabeli 7, z których wynika, że zwiększenie wysokości ścinania roślin kukurydzy może jednak znacznie wpływać na obniżenie użytecznego plonu.

Koszenie roślin na wysokości 82 cm spowodowało znaczne zmniejszenie ilości zebranego surowca (o 29%) w porównaniu do plonu uzyskanego z roślin ścinanych najniżej. Natomiast pozostawienie ścierniska o wysokości 41 cm wpłynęło na obniżenie masy uzyskanego surowca o 13%. Warto jednak dodać, że wyniki badań Hertwig i Robowskiego (1994) informują o znacznie mniejszych różnicach w ilości otrzymanego plonu. Zwiększenie wysokości koszenia kukurydzy z 10 cm do 40 cm spowodowało zmniejszenie ilości uzyskanej suchej masy roślin tylko o 7%. Świadczy to o małym udziale dolnych partii roślin w plonie ogólnym ocenianej kukurydzy. Znacznie mniejsze straty dotyczyły energii netto laktacji. Wynosiły one tylko 4%, gdyż górne części roślin cechowały się większą zawartością składników decydujących o ich walorach energetycznych ($6,56 \text{ MJ}_{\text{ENL}} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i $6,79 \text{ MJ}_{\text{ENL}} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Na szczególne podkreślenie zasługują dane zawarte w tabeli 7, które dotyczą strat związanych z kiseniem. Z zielonki o większej zawartości cukru i mniejszej włókna można otrzymać wyższej jakości kiszonkę z mniejszymi stratami suchej masy i energii netto laktacji.

Wyniki badań Neylona i Kunga (2003) wykazały, że zwiększenie wysokości ścinania roślin kukurydzy z 12,7 cm do 45,7 cm wpłynęło na polepszenie jakości uzyskanej kiszonki. Kiszonka otrzymana z roślin koszonych wyżej charakteryzowała się niższą zawartością frakcji włókna (neutralnego detergentowego i kwaśnego detergentowego) i ligniny. Wyniki badań żywieniowych wykazały, że ilość mleka uzyskana z jednej tony kiszonki otrzymanej z roślin ścinanych na wysokości 45,7 cm była o 6% wyższa w zestawieniu z paszą pochodzącą z surowca gorszej jakości (ścinanie na wysokości 12,7 cm). Stwierdzenie to odnosi się tylko do kiszonki uzyskanej z roślin, które zbierano bardziej wilgotne (34% zawartości suchej masy). Natomiast zwiększenie wysokości ścinania kukurydzy bardziej dojrzałej (około 41% zawartości suchej masy) nie wpłynęło korzystnie na oceniany wskaźnik produktywności. Wyniki innych doświadczeń (Bernard i in. 2004) donoszą, że mniejszej masie kiszonki otrzymanej z roślin ścinanych wyżej odpowiada mniejsza ilość mleka uzyskanego z jej skarmiania. Jeśli natomiast uwzględni się masę zużytej kiszonki w stosunku do masy mleka to ten wskaźnik jest korzystniejszy dla paszy lepszej jakości (z roślin ścinanych wyżej).

Tabela 7. Wpływ wysokości koszenia kukurydzy na ilość i jakość zielonki oraz cechy jakościowe kiszonki (Michalski 1987, 1989, 1997)

Table 7. Effect of cutting height on quantity and quality of corn green fodder and quality of silage (Michalski 1987, 1989, 1997)

Wyszczególnienie – Item	Wysokość koszenia – Cutting height (cm)		
	5	41	82
Zielonka kukurydzy – Corn green fodder			
Plon świeżej masy Yield of fresh matter (t·ha ⁻¹)	43,97	36,53	27,63
Plon suchej masy Yield of dry matter (t·ha ⁻¹)	11,08	9,91	7,87
Zawartość suchej masy Dry matter content (%)	25,2	26,3	28,5
Udział kolb z liśćmi okrywowymi Percentage of cobs with husks (%)			
- w świeżej masie - in fresh matter	31,1	37,4	50,6
- w suchej masie - in dry matter	40,3	45,7	56,3
Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	9,1	9,3	9,9
Włókno surowe (% s.m.) Crude fibre (% d.m.)	27,1	25,3	24,0
Bezazotowe wyciągowe (% s.m.) N-free extractives (% d.m.)	56,4	58,2	59,3
Popiół surowy (% s.m.) Crude ash (% d.m.)	5,5	5,0	4,8
Energia netto świeżej masy Net energy of fresh matter (MJ·kg ⁻¹)	2,04	2,15	2,36
Energia netto uzyskana z 1 ha Net energy obtained from 1 ha (GJ·ha ⁻¹)	89,69	78,54	65,21
Kiszonka – Silage			
pH	5,8	5,2	4,9
Zawartość kwasu mlekowego Lactic acid content (%)	0,29	0,91	1,33
Energia netto uzyskana z 1 ha Net energy obtained from 1 ha (GJ·ha ⁻¹)	55,9	57,0	50,1
Straty suchej masy Dry matter losses (%)	34,3	23,6	17,3

Ekonomiczna ocena żywienia krów mlecznych dawkami pełnoporcjowymi wykazała korzyści wynikające ze stosowania kiszonki z całych roślin kukurydzy, które były ścinane na wysokości około 48 cm w zestawieniu z kiszonką z roślin koszonych na wysokości 18 cm. Mniejszej wysokości koszenia odpowiada jednak większa ilość otrzymanej paszy i uzyskanego z jej skarmiania mleka odniesiona do jednostki powierzchni upraw. Lepsza natomiast jakość kiszonki decyduje o większej wydajności zwierząt oraz większej ilości mleka otrzymanego ze skarmiania jednostki masy kiszonki. Zapewnienie jednakowej wydajności zwierząt karmionych paszami z udziałem różnej jakości kiszonek z kukurydzy wymaga jednak dodatkowego wzbogacenia paszą treściwą dawki z kiszonką gorszej jakości. To uzupełnienie może się wtedy stać zabiegiem ekonomicznie nieuzasadnionym. Potwierdzają to między innymi wyniki analiz Wu i Rotha (2001), Domingueza i in. (2002) oraz Domingueza i Sattera (2003).

Na szczególną uwagę zasługują badania Bernarda i in. (2004), które dotyczyły oceny wpływu wysokości koszenia kukurydzy dwóch odmian mieszańcowych firmy Pioneer Hi-Bred International: Pioneer 31G20 (niższa strawność właściwa) i Pioneer 32K61 (wyższa strawność właściwa) na wartość paszową kiszonki. Wyniki tych badań zamieszczone w tabeli 8 wskazują, że zwiększenie wysokości ścinania kukurydzy charakteryzującej się wyższą strawnością właściwą w niewielkim stopniu wpłynęło na polepszenie jakości składu paszy w postaci kiszonki. Świadczy to o zbliżonej zawartości składników pokarmowych w dolnych i wyższych partiach roślin.

Rezultaty doświadczeń żywieniowych wykazały natomiast znaczną przewagę dawki pełnoporcjowej z udziałem kiszonki z kukurydzy Pioneer 32K61, którą otrzymano z roślin ścinanych na wysokości 30,5 cm. Strawność pozorna tej paszy okazała się o ponad 5 punktów procentowych wyższa w zestawieniu z paszą z dodatkiem kiszonki otrzymanej z roślin koszonych na wysokości 10,2 cm. Wyniki badań strawności pozornej dawki pełnoporcjowej z dodatkiem kiszonki z kukurydzy Pioneer 31G20 ścinanej na wysokości 10,2 cm okazały się znacznie wyższe w porównaniu do paszy skarmianej z dodatkiem kiszonki z roślin koszonych wyżej. Warto również dodać, że dzienna produkcja mleka okazała się wyższa, jeśli skarmiano paszę o niższej strawności pozornej (dawka pełnoporcjowa z udziałem kukurydzy Pioneer 31G20). Wyniki tych badań nie w pełni odpowiadają rezultatom innych doświadczeń (Hertwig i Robowsky 1994, Neylon i Kung 2003). Mogą one być podyktowane między innymi zróżnicowanymi cechami osobniczymi zwierząt należących do poszczególnych grup doświadczalnych.

Tabela 8. Wpływ odmiany mieszańcowej i wysokości koszenia na jakość kiszonki z całych roślin kukurydzy, wydajność krów mlecznych oraz strawność pozorną dawki pełnoporcjowej (Bernard i in. 2004)

Table 8. Effect of hybrid variety and cutting height on quality of whole plant corn silage, performance of dairy cows and apparent digestibility of total mixed ratio (Bernard *et al.* 2004)

Wyszczególnienie – Item	Odmiana – Variety			
	Pioneer 31G20		Pioneer 32K61	
	Wysokość koszenia			
	Cutting height (cm)			
	10,2	30,5	10,2	30,5
Skład chemiczny kiszonki – Chemical composition of silage				
Zawartość suchej masy Dry matter content (%)	35,8	35,2	35,6	36,7
Zawartość włókna neutralnego detergentowego (% s.m.) Neutral detergent fibre content (% d.m.)	46,73	45,48	45,21	44,25
Zawartość włókna kwaśnego detergentowego (% s.m.) Acid detergent fibre content (% d.m.)	27,24	25,79	25,50	24,15
Zawartość białka ogólnego (% s.m.) Crude protein content (% d.m.)	7,82	8,24	8,27	7,94
Zawartość popiołu (% s.m.) Ash content (% d.m.)	2,87	3,19	2,61	2,52
Strawność suchej masy <i>in vitro</i> <i>In vitro</i> dry matter digestibility (%)	66,53	68,42	69,53	68,80
Wyniki produkcyjne krów mlecznych oraz strawność pozorną paszy z 40% udziałem kiszonki Production results of lactating cows and apparent digestibility of forage with 40% share of silage				
Dzienne pobranie paszy (kg s.m.·d ⁻¹) Daily intake of forage (kg d.m.·d ⁻¹)	25,8	24,6	24,4	25,6
Dzienna produkcja mleka Daily milk yield (kg·d ⁻¹)	36,7	37,2	36,6	38,2
Zawartość tłuszczu w mleku Fat content in milk (%)	4,02	4,06	3,73	3,95
Zawartość białka w mleku Protein content in milk (%)	3,15	3,12	3,15	3,24
Strawność pozorną paszy Apparent digestibility of forage (%)				
- suchej masy - dry matter	62,97	56,93	59,87	65,18
- białka ogólnego - crude protein	64,78	60,98	62,94	70,90
- włókna neutralnego detergentowego - neutral detergent fibre	51,95	39,31	43,45	49,21

Wyniki badań Grabowicz i innych (Grabowicz 1998, Grabowicz i in. 1998) wykazały, że plon zielonki uzyskany z koszenia owsa (woskowa dojrzałość ziarna) na wysokości 2 cm ponad powierzchnią gleby był prawie trzykrotnie wyższy w zestawieniu z plonem roślin ścinanych na wysokości 45 cm (tab. 9). Natomiast różnice w plonie suchej masy były znacznie mniejsze. Świadczy to o dużej wilgotności dolnych części roślin. Na podstawie danych zawartych w tabeli 9 obliczono, że wilgotność dolnych partii łanu (pomiędzy drugim a piętnastym centymetrem wysokości roślin) wynosiła ponad 90%. Ta część roślin charakteryzowała się ponadto bardzo dużą zawartością włókna surowego (ponad 66% s.m.). Podane wielkości świadczą o braku celowości niskiego koszenia owsa z przeznaczeniem na kiszonkę.

Kiszonka z roślin ścinanych na wysokości 30 cm zawierała dwukrotnie mniej azotu amoniakalnego i jej wartość energetyczna była wyższa o 16% w porównaniu do kiszonki z roślin koszonych najniżej. Jednak uzyskany plon świeżej masy był o 47% niższy.

Warto również dodać, że zwiększenie wysokości koszenia roślin z 15 cm do 30 cm wpłynęło na znaczne obniżenie plonu użytecznego (o około 37%). Mając na uwadze podane informacje można twierdzić, że całe rośliny owsa przeznaczone na kiszonkę należy kosić na wysokości około 20 cm w celu uzyskania zadowalającej wysokości plonu i dobrej jakości zielonki.

W doświadczeniach Jacksona i in. (2004) oceniano między innymi wpływ wysokości koszenia pszenicy ozimej odmiany Equinox na jakość kiszonki, którą sporządzano z dodatkiem mocznika w ilości 2% świeżej masy konserwowanego materiału. Rośliny przeznaczone do zakiszania zbierano samobieźną sieczkarnią Claas Jaguar 800, która była wyposażona w zespół zgniatający ziarna (dwa rowkowane walce umieszczone w odległości 0,5 mm; prędkość obrotowa walców 52 obr. \cdot s⁻¹ i 83 obr. \cdot s⁻¹). Kiszonka otrzymana z roślin ścinanych na wysokości 37,3 cm cechowała się wyższą zawartością skrobi oraz wyższą strawnością *in vitro* substancji organicznej w porównaniu do paszy z roślin koszonych na wysokości 17,8 cm nad powierzchnią gleby (tab. 10). Duża zawartość azotu amoniakalnego była spowodowana dodawaniem mocznika do konserwowanego materiału. Należy jednak dodać, że nie stwierdzono dodatniego wpływu dodatku mocznika na pobieranie paszy przez zwierzęta oraz na ilość uzyskanego mleka. Mleko od krów żywionych paszą z dodatkiem kiszonki z roślin ścinanych niżej zawierało prawie o 0,5 punktu procentowego więcej tłuszczu w zestawieniu z mlekiem otrzymanym od krów karmionych dawką pełnoporcjową z udziałem lepszej jakości kiszonki z całych roślin pszenicy (koszonych na wysokości 37,3 cm). Zbliżone zależności uzyskano w badaniach Sinclaira i innych (2003) oraz Wellera i innych (1995), którzy stwierdzają, że wysokość koszenia zbóż z przeznaczeniem na kiszonkę może w sposób istotny decydować o jakości produktu końcowego, jeśli zbiór będzie realizowany w późniejszych fazach rozwojowych roślin.

Tabela 9. Plony i jakość zielonki oraz kiszonki z całych roślin owsa (Grabowicz i in. 1998)
Table 9. Yield and quality of green fodder and oat whole plant silage (Grabowicz *et al.* 1998)

Wyszczególnienie – Item	Wysokość koszenia – Cutting height (cm)			
	2	15	30	45
	Zielonka z owsa – Oat green fodder			
Plon zielonej masy Yield of green matter (t · ha ⁻¹)	28,60	24,05	15,12	10,15
Plon suchej masy Yield of dry matter (t · ha ⁻¹)	6,53	6,12	4,78	3,20
Plon substancji organicznej Yield of organic matter (t · ha ⁻¹)	5,62	5,39	4,36	2,95
Zawartość suchej masy Dry matter content (%)	22,85	25,43	31,62	31,55
Zawartość włókna surowego (% s.m.) Crude fibre content (% d.m.)	41,3	39,6	36,6	33,2
Bezazotowe wyciągowe (% s.m.) N-free extractives (% d.m.)	40,4	43,0	46,9	48,5
	Kiszonka – Silage			
pH	4,12	4,21	4,32	4,40
Zawartość suchej masy Dry matter content (%)	25,89	26,71	28,20	32,92
Zawartość kwasu mlekowego (% s.m.) Lactic acid content (% d.m.)	12,15	11,09	9,13	6,27
Zawartość włókna surowego (% s.m.) Crude fibre content (% d.m.)	38,9	35,1	27,2	29,1
Bezazotowe wyciągowe (% s.m.) N-free extractives (% d.m.)	41,9	43,0	45,7	49,9
Azot amoniakalny (% N ogólnego) Ammonia N (% in total N)	12,4	10,1	6,2	6,1
Energia netto laktacji (MJ · kg ⁻¹ s.m.) Net energy of lactation (MJ kg ⁻¹ d.m.)	5,27	5,67	6,12	6,58
Strawność pozorna Apparent digestibility (%)				
- substancji organicznej - organic matter	55,12	60,80	59,16	69,01
- bezazotowych wyciągowych - N-free extractives	53,25	58,93	58,98	73,61
Straty substancji organicznej Organic matter losses (%)	15,1	16,3	17,4	26,3

Tabela 10. Skład chemiczny kiszonki z całych roślin pszenicy ścinianych na dwóch wysokościach (Jackson i in. 2004)

Table 10. Chemical composition of wheat silage of whole plants cut at of two heights (Jackson *et al.* 2004)

Wyszczególnienie – Item	Wysokość koszenia – Cutting height (cm)			
	17,8	17,8	37,3	37,3
	Zespół rozdrabniający ziarno Grain cracker unit			
	Nie No	Tak Yes	Nie No	Tak Yes
Zawartość suchej masy Dry matter content (%)	71,3	65,3	70,7	70,9
Zawartość substancji organicznej (% s.m.) Organic matter content (% d.m.)	95,8	95,2	95,6	95,4
Węglowodany rozpuszczalne w wodzie (% s.m.) Water-soluble carbohydrates (% d.m.)	1,7	1,5	1,6	2,0
Włókno neutralne detergentowe (% s.m.) Neutral detergent fibre (% d.m.)	42,5	41,9	33,1	34,2
Włókno kwaśne detergentowe (% s.m.) Acid detergent fibre (% s.m.)	26,4	25,1	19,7	19,9
Azot amoniakalny (% N całkowitego) Ammonia N (% of total N)	17	23	17	20
Zawartość skrobi (% s.m.) Starch content (% d.m.)	36,9	34,2	41,7	42,0
Strawność substancji organicznej <i>in vitro</i> (% s.m.) <i>In vitro</i> organic matter digestibility (% d.m.)	72,2	66,7	75,4	74,3
pH	7,6	7,5	7,4	7,9

Zwiększanie wysokości koszenia roślin wpływa na wzrost udziału ziarna w otrzymanej paszy a ziarno decyduje o wartości żywieniowej (wzrost zawartości białka i skrobi, zmniejszenie zawartości węglowodanów strukturalnych). Niższe partie zbieranych roślin zawierają mniej wartościowych składników pokarmowych, a pozostawienie wyższego ścierniska może poważnie obniżyć ilość zebranej masy.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że w wyniku stosowania intensywnej defoliacji uzyskuje się większą ilość zbieranych pasz zielonych. Dolne partie runi łąkowej charakteryzują się znacznym zagęszczeniem, a pozostawienie ich w postaci ścierniska bardzo wyraźnie obniża ilość uzyskanej biomasy. Należy jednak dodać, że najniżej położone nadziemne części roślin charakteryzują się małą wartością pokarmową z racji dużej zawartości węglowodanów

strukturalnych oraz małej zawartości białka. Ścinanie kukurydzy na większej wysokości pozwala uzyskać wysokoenergetyczną kiszonkę, której udział w dawce pokarmowej dla wysoko wydajnych zwierząt może decydować o opłacalności produkcji.

Pełna ocena wpływu wysokości koszenia na plonowanie użytków zielonych wymaga prowadzenia badań, które uwzględniłyby przede wszystkim zależności między intensywnością defoliacji a odrastaniem roślin przed następnym koszeniem (Douglas i in. 1994, Fisher i Dowdeswell 1995, Fulkerson i Slack 1995a, Fulkerson i Slack 1995b, Fulkerson i in. 1999, Simons i in. 1974). Konieczna więc staje się analiza produktywności użytków zielonych w całym okresie wegetacyjnym, a nawet i w następnych latach. Zagadnienie to jest bezpośrednio związane z wpływem wysokości ścinania roślin na ich krzewienie się, zagęszczenie runi oraz dynamikę odbudowy aparatu asymilacyjnego.

3. STRATY POWODOWANE ODDYCHANIEM SKOSZONYCH ROŚLIN

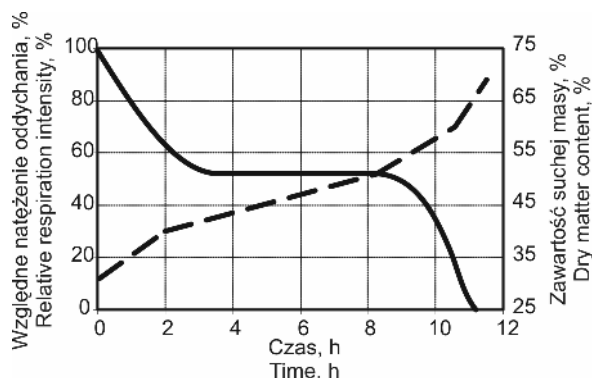
3.1. Czynniki wpływające na straty oddychania

W skoszonym materiale roślinnym kontynuowany jest nadal proces oddychania, który w zależności od dostępu tlenu może mieć charakter aerobowy lub anaerobowy. Pierwszy z nich występuje podczas suszenia, natomiast drugi towarzyszy kiszeniu. Oddychanie tlenowe polega na przemianie materii organicznej w dwutlenek węgla i wodę. Proces odbywający się w komórkach kosztem zawartych w nich substratów oddechowych (bez dostarczenia ich z zewnątrz) nazywamy oddychaniem endogennym. Wielu badaczy sprowadza proces oddychania skoszonych roślin do utleniania węglowodanów, którego końcowymi etapami są reakcje heksoz (Greenhill 1959, Henderson 1973, Ohm 1972, Rees 1982, Rücker i Knabe 1977). Inni traktują to jako przemianę bardziej złożoną, w której substratami oddychania są również białka, tłuszcze i kwasy organiczne. Wszyscy są jednak zgodni, że głównymi substancjami organicznymi biorącymi udział w procesach życiowych przebiegających po ścięciu roślin są węglowodany. Zostało to potwierdzone w wielu doświadczeniach, w których oznaczano ubytki węglowodanów i powstającego w wyniku reakcji rozkładu dwutlenku węgla (Greenhill 1959, McGechan 1989, Melvin i Simpson 1963, Wilkinson i Hall 1966).

Autorzy niektórych opracowań stwierdzają, że oddychanie trwa do chwili, gdy zawartość wody w roślinach obniży się do około 40% (McGechan 1989, Podkówa i in. 1984, Rees 1982, Roszkowski 1980, Toussaint i in. 1988). Proces ten może być wcześniej zahamowany, jeśli wystąpi brak substratów oddechowych w niekorzystnych warunkach suszenia polowego. Warto również dodać, że przy tym krytycznym poziomie wilgotności następuje już gwałtowny spadek natężenia procesów życiowych. Informują o tym wyniki badań prowadzonych przez

Wolfa i Carsona (1973) – rysunek 1. Procesy życiowe badanego materiału roślinnego uległy całkowitemu zahamowaniu przy wilgotności ok. 30%. Wyniki doświadczeń laboratoryjnych prowadzonych przez Wooda (1972) wskazują, że oddychanie jest kontynuowane nawet przy wilgotności 16-18%. W innej natomiast pracy Wood i Parker (1971) podają zależność pomiędzy natężeniem oddychania skoszonych roślin a ich wilgotnością, z której wynika, że procesy życiowe komórek ustają, gdy zawartość wody wynosi 27,3%.

Natężenie oddychania można określać na podstawie ubytku masy organicznej albo ilości pobranego tlenu lub wydzielonego dwutlenku węgla. Główne czynniki decydujące o aktywności tego procesu, zachodzącego w skoszonej zielonce to: ilość wody i substratów oddechowych (zwłaszcza węglowodanów i tlenu), ilość i aktywność enzymów oddechowych oraz temperatura, w której odbywa się oddychanie. Aktywność enzymów oddechowych jest zależna od struktury mitochondriów, zawartości inhibitorów i aktywatorów oraz skali „zranienia tkanki”. Na te wszystkie wyżej wymienione czynniki ma wpływ: rodzaj materiału (gatunek i odmiana rośliny), rodzaj i wiek tkanki oraz rodzaj stosowanych zabiegów mechanicznych przyspieszających suszenie (Honig 1979, McGechan 1989, Ohm 1972, Wolf i Carson 1973, Wood 1972, Wood i Parker 1971).



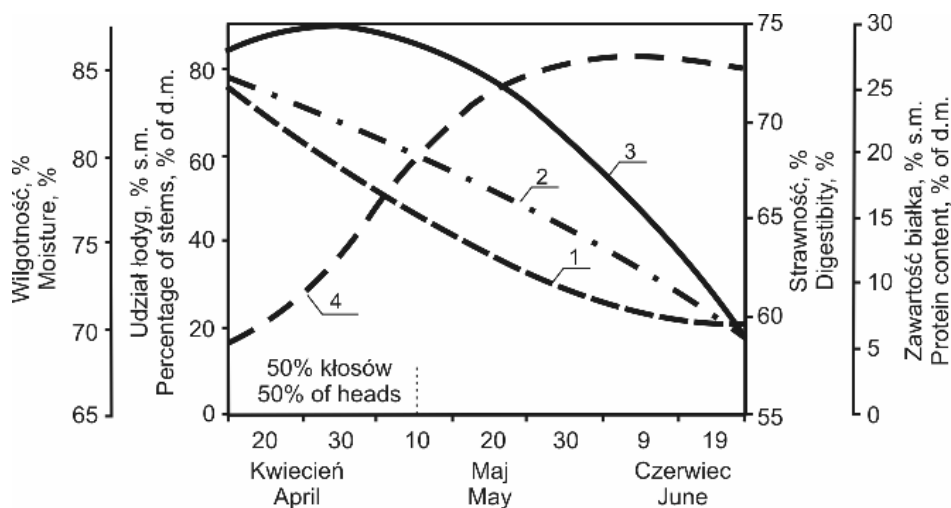
Rys. 6. Zmiany natężenia oddychania i zawartości suchej masy w liściach lucerny (temperatura 25°C) w zależności od czasu ich usuwania z roślin (Wolf i Carson 1973): ———— względne natężenie oddychania (%), — — — — — zawartość suchej masy (%)

Fig. 6. Changes in respiration intensity and dry matter content in alfalfa leaves (at air temperature of 25°C) versus time after removing them from the plants (Wolf and Carson 1973): ———— relative respiration intensity (%), — — — — — dry matter content (%)

W zależności od fazy wegetacji, rośliny zmieniają swoje cechy zewnętrzne, właściwości fizyczne a zwłaszcza mechaniczne oraz skład chemiczny (Hejnowicz 1980, Hides i in. 1983, Jacniacki i Kocan 1984, Zurzycki i Michniewicz 1977,

Żurek 1995). Zmienność ta wpływa na ilość i jakość uzyskiwanej biomasy, a także na przydatność roślin do produkcji danego rodzaju paszy. Decyduje ona również o skuteczności prowadzenia określonych zabiegów technologicznych (Collins 1982, Collins 1983, Monson i Burton 1982). Rośliny młode zawierają największe ilości wartościowych składników pokarmowych, z powodu dużej zawartości liści w masie. W miarę dojrzewania roślin wzrasta udział łodyg w ogólnej masie, zmniejsza się zawartość białka i gwałtownie spada strawność substancji organicznej (rys. 7).

Zagadnieniu wpływu fazy rozwojowej koszonych roślin na intensywność kontynuowania procesów życiowych komórek poświęcono wiele prac, spośród których należy wymienić te, które były prowadzone przez Greenhilla (1959), Hendersona (1973), Melvina i Simpsona (1963) oraz Pizarro i Jamesa (1972). Z informacji zamieszczonych w tabeli 11 wynika, że największą dynamikę oddychania zaobserwowano w materiale koszonym najwcześniej i zawierającym najwięcej wody.



Rys. 7. Zmiany składu chemicznego, strawności substancji organicznej oraz udziału łodyg w suchej materii rajgrasu angielskiego S-24 w zależności od stadium wegetacji (Wolf i Carson 1973): 1 – białko ogólne, 2 – strawność, 3 – wilgotność, 4 – udział łodyg w suchej masie

Fig. 7. Changes in chemical composition, organic matter digestibility and proportion of stems in the dry matter of perennial ryegrass S-24 depending on the stage of growth (Wolf and Carson 1973): 1 – crude protein, 2 – digestibility, 3 – moisture content, 4 – proportion of stems

Wzrostowi suchej masy w badanym materiale (składającym się z rajgrasu angielskiego S321 – 94,38%, koźczyny białej – 1,53% i chwastów – 4,09%) towarzyszył znaczny spadek wydzielania dwutlenku węgla. Na uwagę zasługuje fakt, że natężenie oddychania materiału koszonego we wcześniejszych fazach rozwoju

wegetacyjnego jest intensywniejsze niż w zielonce bardziej dojrzałej o podobnej wilgotności, która zawiera znacznie więcej węglowodanów rozpuszczalnych (zawartość węglowodanów rozpuszczalnych w suchej masie badanej paszy: początek kłoszenia – 5,56%, początek kwitnienia – 15,28%, 30 dni od początku kwitnienia – 21,56%).

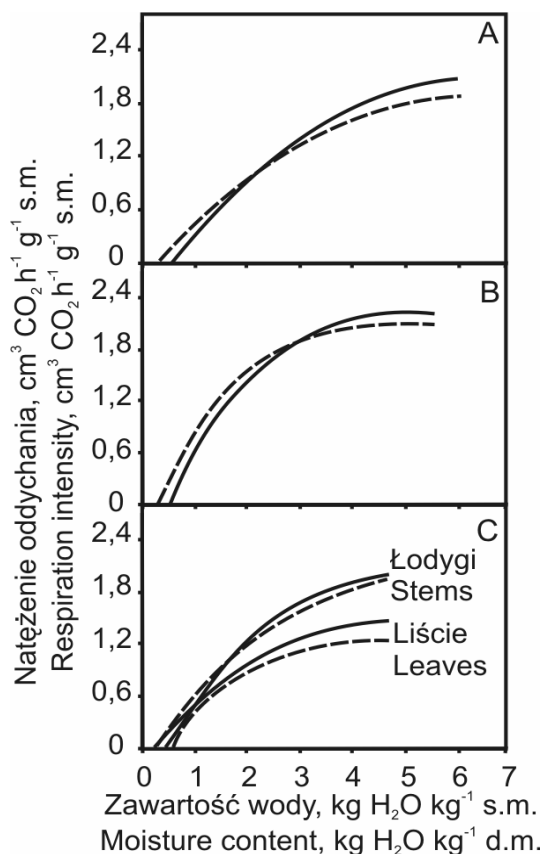
Przytoczone wyniki badań prowadzonych przez Pizarro i Jamesa (1972) różnią się od wyników, które podaje w swoich opracowaniach Greenhill (1959), Henderson (1973), Melvin i Simpson (1963). Z zestawienia wyników pomiaru natężenia oddychania rajgrasu (prowadzonych przez Pizarro i Jamesa (1972) z tymi, które otrzymał Greenhill (1959) również dla rajgrasu) wynika, że różnice te są bardzo duże. Wartości uzyskane przez dwóch pierwszych badaczy są nawet dziesięciokrotnie niższe w zestawieniu z tymi, które uzyskał Greenhill (1959) (tab. 11, rys. 6). Różnice te są największe jeśli dotyczą oddychania roślin o dużej wilgotności. W doświadczeniu Pizarro i Jamesa (1972) straty substancji organicznej w wyniku oddychania skoszonego rajgrasu, obliczone na podstawie równania utleniania heksoz i ilości wydzielonego dwutlenku węgla są stosunkowo niskie. Wynoszą one odpowiednio: dla zielonki koszonej na początku kłoszenia – 1,28%, dla zielonki koszonej w okresie początku kwitnienia – 0,9% oraz dla materiału w pełni kwitnienia – 0,26%. Wielkość strat obliczonych przez Greenhilla wynosi 6,3-9,1%. Różnice te są więc bardzo duże. Na to zwraca również uwagę Wood (1972).

Tabela 11. Wpływ fazy rozwoju roślin i wilgotności skoszonego rajgrasu angielskiego S321 na natężenie oddychania (Pizarro i James 1972)

Table 11. Effect of growth stage and moisture content in mown perennial ryegrass S321 on respiration intensity (Pizarro and James 1972)

Faza rozwoju wegetacyjnego Growth stage	Wilgotność Moisture content (%)	Natężenie oddychania ($\text{cm}^3 \text{CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{s.m.}$) Respiration intensity ($\text{cm}^3 \text{CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ d.m.}$)
	83,48	1,66
Początek kłoszenia	69,54	1,11
Early heading	45,93	0,21
	29,61	0,04
	77,78	0,92
Początek kwitnienia	58,60	1,01
Early flowering	36,00	0,18
	18,37	0,05
	65,25	0,30
30 dni od początku kwitnienia	31,52	0,24
30 days from early flowering	25,95	0,07
	18,39	0,00

Wyniki badań prowadzonych przez Greenhilla (1959) (rys. 8) informują o znacznych różnicach w natężeniu oddychania poszczególnych części skoszonego materiału roślinnego. Procesy oddychania komórek młodych liści rajgrasu przebiegają intensywniej w porównaniu z oddychaniem łodyg.



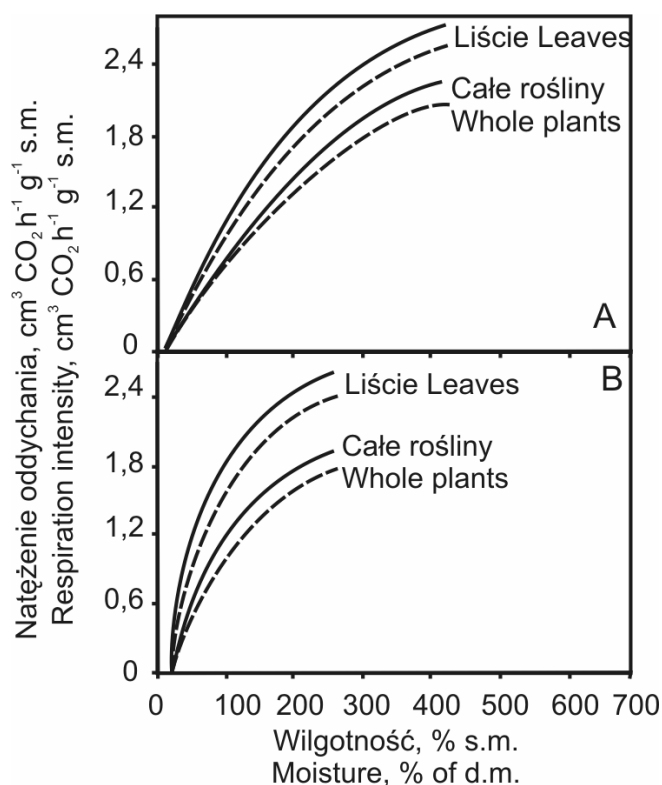
Rys. 8. Natężenie oddychania skoszonego rajgrasu w różnych fazach rozwoju w funkcji wilgotności (Greenhill 1959): A – całe rośliny przed kłoszeniem, B – liście przed kłoszeniem się roślin, C – w pełni kłoszenia roślin, — pobieranie O₂, - - - - - produkcja CO₂

Fig. 8. Respiration intensity of mown ryegrass as a function moisture content and stage of growth (Greenhill 1959). A – whole plants before heading, B – leaves before heading of plants, C – at full heading of plants, — O₂ uptake, - - - - - CO₂ production

Przy niższych wilgotnościach (50-65%) różnice w ilości wydzielanego dwutlenku węgla (pobieranego tlenu) dla różnych części rośliny są największe. Inny charakter ma natomiast oddychanie w późniejszym stadium wegetacji. Proces ten jest mniej intensywny, a łodygi zachowują większą aktywność niż liście.

Z badań nad oddychaniem białej koniczyny wynika, że w liściach tej rośliny procesy życiowe kontynuowane są z większą intensywnością niż w łodygach. Różnice te są największe dla materiału koszonego w pełni kwitnienia (rys. 9).

Z analizy strat substancji organicznej określonej na podstawie obliczonej ilości wydzielanego dwutlenku węgla wynika, że wartości te są znacznie wyższe w zestawieniu z tymi, które mierzono bezpośrednio.



Rys. 9. Natężenie oddychania skoszonej koniczyny białej w zależności od wilgotności i fazy rozwoju wegetacyjnego (Greenhill 1959): A – początek kwitnienia, B – pełnia kwitnienia, — pobieranie O₂, ----- produkcja CO₂

Fig. 9. Respiration intensity of white clover versus moisture content and the stage of growth (Greenhill 1959): A – in early flowering, B – in full flowering, — O₂ uptake, ----- CO₂ production

Największe różnice dotyczą koniczyny białej (tab. 12). Straty obliczane na podstawie ilości wydzielanego gazu i przyjęcia reakcji oddychania jako procesu utleniania heksoz są około 160% wyższe w zestawieniu z wielkością określaną metodą wagową.

Tabela 12. Porównanie strat substancji organicznej powodowanych oddychaniem skoszonego rajgrasu i koniczyny białej (Greenhill 1959)

Table 12. Comparison of organic matter losses caused by respiration of cut ryegrass and white clover (Greenhill 1959)

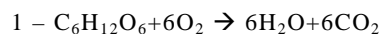
Badana pasza, faza rozwoju Type of forage, growth stage	Straty oddychania (% s.m.) Respiration losses (% d.m.)	
	Metoda bezpośrednia Direct method	Metoda pośrednia Indirect method
Rajgras (liście) Ryegrass (leaves)		
- wczesna faza wegetacyjna - early vegetative stage	5,35	6,3
Rajgras (całe rośliny) Ryegrass (whole plants)		
- wczesna faza wegetacyjna - early vegetative stage	7,23	8,8
- tuż przed kłoszeniem - just before heading	7,72	9,1
Koniczyna biała (całe rośliny) White clover (whole plants)		
- początek kwitnienia - early flowering	7,15	11,9
- w pełni kwitnienia - at full flowering	7,27	12,1

Badania prowadzone przez Parkesa i Greiga (1974) nad oddychaniem skoszonego rajgrasu wykazały inną zależność. Straty suchej masy określane metodą pośrednią opierającą się o równanie rozkładu heksoz okazały się znacznie niższe niż rzeczywiste ubytki (tab. 13). Autorzy tych badań stwierdzają również, że do oceny ubytków substancji organicznej będących wynikiem kontynuowania procesów życiowych przez komórki, nie zawsze mogą być przyjmowane równania utleniania heksoz. Uwaga ta dotyczy zwłaszcza roślin suszonych w warunkach polowych, które są zbliżone do panujących podczas dosuszania siana w stodole, pomimo dostępu powietrza. Bardziej miarodajną ocenę poziomu tych strat substancji organicznej można uzyskać w oparciu o przyjęcie założenia, że oddychanie jest procesem anaerobowym, w którym następuje przemiana heksoz w kwas mlekowy i alkohol etylowy. Należy dodać, że warunki w jakich prowadzono badania znacznie się różniły od tych, które występują podczas polowego suszenia

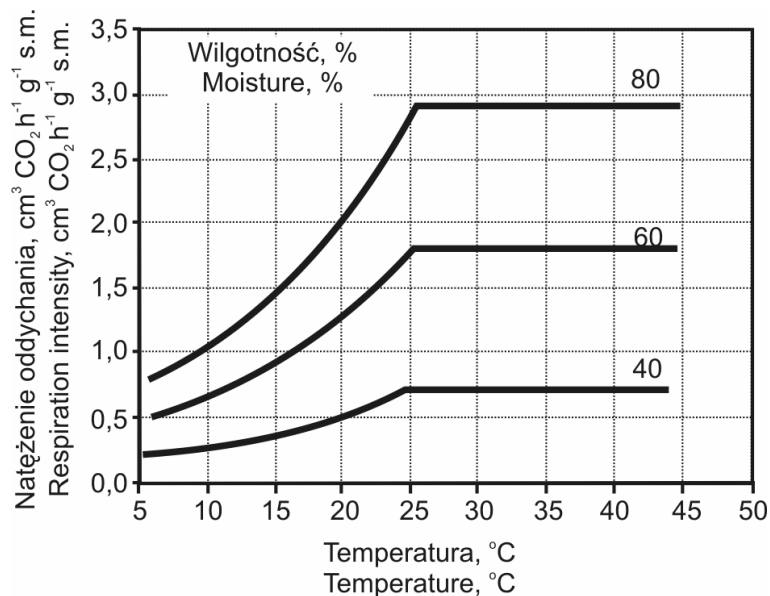
pasz zielonych. Pocięta zielonka na sieczkę o długości 25-50 mm została umieszczona w pojemnikach. Gęstość tak przygotowanych próbek wynosiła około $170 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a proces utraty wilgoci był nieznaczny. Względne straty suchej masy były dość znaczne (8,2-13,2% – określane metodą bezpośrednią). Świadczą one o dość intensywnym kontynuowaniu procesów życiowych komórek badanej paszy.

Tabela 13. Zestawienie strat oddychania rajgrasu określanych dwoma metodami (Parkes i Greig 1974)
Table 13. Comparison of respiration losses of ryegrass determined with two methods (Parkes and Greig 1974)

Wilgotność materiału Moisture of material (%)		Straty oddychania (% s.m.) Respiration losses (% d.m.)			
Początkowa Initial	Końcowa Final	Metoda bezpośrednia Direct method	Metoda pośrednia Indirect method		
			Wg równania 1 According to equation 1	Wg równania 2 According to equation 2	
71	71	13,2	1,85	11,2	
44	46	10,5	1,69	6,42	
58	48	9,8	2,31	13,8	
35	33	8,2	1,44	8,64	
71	60	12,8	7,11	–	



Badania prowadzone przez Wooda i Parkera (1971) dotyczyły dynamiki oddychania skoszonego rajgrasu. Pomiarów obejmowały ilość wydzielanego dwutlenku węgla w zależności od wilgotności paszy (27-85%) i temperatury otoczenia (5-45°C). Wyniki tych badań pozwalają wnioskować, że w materiale roślinnym o wyższej wilgotności proces oddychania jest intensywniejszy (rys. 10). W podobny sposób wpływa również temperatura w zakresie od 5°C do 25°C. Z zależności podanych na rysunku 10 wynika, że wzrost temperatury powyżej 25°C nie ma wpływu na poziom natężenia oddychania.

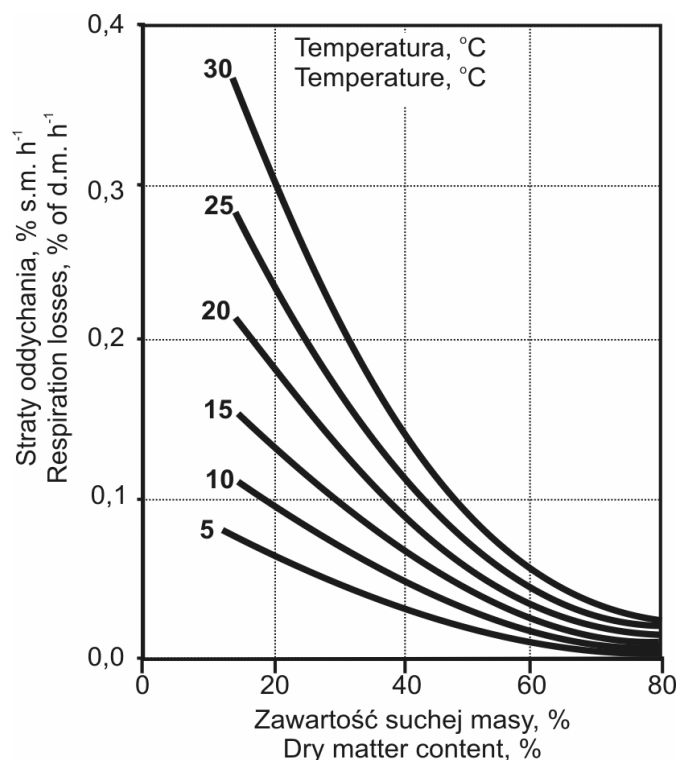


Rys. 10. Natężenie oddychania skoszonego rajgrasu w zależności od temperatury i wilgotności (Wood i Parker 1971)

Fig. 10. Respiration intensity of mown ryegrass depending on temperature and moisture content (Wood and Parker 1971)

Na rysunku 11 przedstawiono zależność strat oddychania trawy łąkowej w funkcji jej wilgotności i temperatury w jakiej odbywa się analizowany proces. Z danych tych wynika, że wzrostowi zawartości suchej masy w badanym materiale towarzyszy znaczny spadek natężenia procesów życiowych komórek. Należy podkreślić, że w warunkach prowadzonego eksperymentu proces oddychania miał miejsce nawet w materiale o wilgotności 20%. Straty substancji organicznej powodowane oddychaniem (określane metodą pośrednią na podstawie ilości wydzielanego dwutlenku węgla) zwiększają się ze wzrostem temperatury. Z porównania tych zależności z rezultatami badań prowadzonych przez Wooda i Parkera (1971) (rys. 10) wynika, że rozbieżności w ocenie wpływu temperatury na analizowany proces są znaczne. Prace Honiga (1979) informują, że wzrostowi temperatury (5-30°C) towarzyszy znaczny wzrost natężenia oddychania. Natomiast Wood i Parker (1971) uważają, że w temperaturze powyżej 25°C proces oddychania przebiega z jednakową intensywnością przy określonym poziomie wilgotności zielonki. Ocena wpływu tego czynnika nie pokrywa się w pełni z wynikami prac wielu innych badaczy (Henderson 1973, Melvin i Simpson 1963, Rees 1982, Wolf i Carson 1973).

Wyniki badań prowadzonych przez Wolfa i Carsona (1973) informują, że przetrzymywanie zielonki przez 15 minut w temperaturze 45°C nie wpływa ujemnie na przebieg dalszych procesów życiowych komórek skoszonej lucerny. Natomiast w materiale, którego temperatura wynosiła 55°C nastąpiła zupełna inaktywacja enzymów oddechowych, pomimo krótkiego czasu działania czynnika termicznego.



Rys. 11. Straty oddychania skoszonej trawy w funkcji zawartości suchej masy i temperatury otoczenia (Honig 1979)

Fig. 11. Respiration losses of mown grass versus dry matter content and ambient temperature (Honig 1979)

Thornley (1976) podaje zależność szybkości reakcji enzymatycznych, która może być stosowana do oddychania skoszonych roślin, a uwzględniająca stężenie substratów:

$$V = \frac{V_o \cdot C_s}{K_m + C_s} \quad (1)$$

gdzie: V – szybkość reakcji enzymatycznych,
 V_o – szybkość reakcji nieograniczona brakiem substratów,
 C_s – stężenie substratów,
 K_m – stała Michaelis-Menten.

Wielkość K_m występująca w tym wzorze ma wymiar takiego stężenia substratu, dla którego szybkość reakcji równa się połowie wartości maksymalnej. Thornley stwierdza, że wartość K_m jest bardzo mała dla procesów oddychania i w związku z czym natężenie oddychania utrzymuje się na zbliżonym poziomie V_o aż do chwili znacznego ubytku substratów.

W większości publikowanych prac dotyczących strat oddychania podczas polowego suszenia pasz zielonych na siano zajmowano się tylko analizą wpływu temperatury i wilgotności materiału na intensywność kontynuowanych procesów życiowych komórek roślinnych oraz ubytki substancji organicznej (Greenhill 1959, McGechan 1989, Melvin i Simpson 1963, Parkes i Greig 1974, Pizarro i James 1972). Niewielka ilość opracowań uwzględnia zmiany dynamiki oddychania w zależności od rodzaju stosowanych zabiegów mechanicznych mających na celu przyśpieszenie procesu suszenia. Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań Hilla, Packa, Transtruma i Wintersa (1959), Simpsona (1961), Dervedde i Honiga (1979), Krausa, Mucka i Koegela (1999). Wymienieni badacze uwzględniają dodatkowo jeszcze jeden czynnik, który wpływa na procesy życiowe komórek skoszonych roślin, a mianowicie stan „zranienia tkanki”. Z informacji zamieszczonych w tabeli 14 wynika, że materiał poddawany zgniataniu parą stalowych walców charakteryzuje się większą intensywnością oddychania w porównaniu z paszą, która stanowiła grupę kontrolną. Biorąc pod uwagę wpływ intensywności stosowanych zabiegów należy stwierdzić, że w materiale o większym stopniu „zranienia tkanki” procesy życiowe są mniej dynamiczne w zestawieniu z paszą poddawaną mniej „niszczącej” obróbce mechanicznej. Wyniki badań prowadzonych przez Hilla i innych (1959) informują natomiast o tym, że natężenie oddychania skoszonej zielonki jest proporcjonalne do stopnia uszkodzenia tkanki roślinnej. Część badaczy wyjaśnia ten wpływ wzrostem wymiany gazowej pomiędzy rośliną a otoczeniem; inni natomiast są zwolennikami poglądu związanego ze zwiększeniem się aktywności enzymów oddechowych w uszkodzonych komórkach roślinnych. W nawiązaniu do danych w tabeli 14 należy stwierdzić, że w materiale poddawany obróbce mechanicznej stosunkowo szybko zanikają procesy oddychania w wyniku szybkiej utraty wilgoci. Greenhill (1959) uważa, że szybkie suszenie zielonki przyczynia się do znacznego ograniczenia strat będących wynikiem oddychania. Badacz ten proponuje również równanie zależności pomiędzy stratami oddychania a niedosytem wilgotności powietrza oraz i jego temperatury.

Tabela 14. Względne zmiany natężenia oddychania zielonki poddanej zgniatanu parą stalowych walców (Simpson 1961)
Table 14. Relative changes of respiration intensity of green fodder crushed with two rollers (Simpson 1961)

Czas suszenia Drying time (h)	Całe rośliny – Whole plants			Łodygi – Stems			Liście – Leaves		
	Próba kontrolna Control sample	Intensywność zgniatania Intensity of crushing		Próba kontrolna Control sample	Intensywność zgniatania Intensity of crushing		Próba kontrolna Control sample	Intensywność zgniatania Intensity of crushing	
		Mała – Light	Duża – Severe		Mała – Light	Duża – Severe		Mała – Light	Duża – Severe
Lucerna – początek kwitnienia – Alfalfa – early flowering									
0	100	115	107	100	128	120	100	111	104
20	74	37	16	54	26	10	80	69	21
40	50	7	1	33	4	2	39	4	4
60	26	0	0	17	0	0	21	0	0
Lucerna – w pełni kwitnienia – Alfalfa – full flowering									
0	100	114	96	100	99	83	100	109	109
20	67	35	3	40	26	1	64	22	12
40	42	2	0	15	0	0	30	2	0
60	17	0	0	4	0	0	14	0	0
Koniczyna biała – w pełni kwitnienia – White clover – full flowering									
0	100	111	113	100	139	119	100	111	106
20	68	67	28	73	41	1	68	69	22
40	25	17	0	39	17	0	32	4	0
60	8	0	0	12	4	0	9	0	0

Dernedde i Honig (1979) prowadzili badania, które dotyczyły wpływu stosowania różnych zabiegów mechanicznych przyspieszających proces polowego suszenia zielonek na wielkość strat biologicznych i mechanicznych. Z danych zamieszczonych w tabeli 15 wynika, że w materiale podawanym wstępnej obróbce mechanicznej, straty suchej masy były mniejsze niż w paszy stanowiącej grupę kontrolną (koszenie + przetrząsanie).

Tabela 15. Straty oddychania (% suchej masy) przy różnych sposobach mechanicznej obróbki trawy łąkowej o plonie suchej masy 5,52 t·ha⁻¹ (Dernedde i Honig 1979)

Table 15. Respiration losses (% of dry matter) at various methods of mechanical treatment of meadow grass of dry matter yield of 5.52 t ha⁻¹ (Dernedde and Honig 1979)

Stosowane maszyny, zabiegi Machines applied, treatments	Końcowa wilgotność trawy Final moisture of grass (%)		
	70	60	40
Kosiarka rotacyjna; przetrząsanie: 2/dzień, cienka warstwa materiału Rotary mower; tedding: 2x/day, thin layer of matter	5,4	7,1	7,5
Kosiarka rotacyjna; mała intensywność obróbki mechanicznej (zasięrzutny zespół wirnikowy); przetrząsanie: 2/dzień, cienka warstwa materiału Rotary mower; light intensity of mechanical treatment (overhead rotary set); tedding: 2x/day, thin layer of matter	3,9	4,5	5,7
Kosiarka kondycjonująca (walce zgniatające); intensywna obróbka mechaniczna; przetrząsanie: 2x/dzień, cienka warstwa materiału Mower conditioner (crushing rolls); intensive mechanical treatment; tedding: 2x/day, thin layer of matter	3,9	4,3	5,5
Kosiarka rotacyjna; mała intensywność obróbki mechanicznej (zasięrzutny zespół wirnikowy), przetrząsanie: 2x/dzień, suszenie na pokosach Rotary mower; light intensity of mechanical treatment (overhead rotary set); tedding: 2x/day, windrow drying	4,5	6,1	–
Kosiarka rotacyjna, mała intensywność obróbki mechanicznej (zasięrzutny zespół wirnikowy), suszenie na pokosach bez przetrząsania Rotary mower; light intensity of mechanical treatment (overhead rotary set); windrow drying without spreading	5,1	7,6	–

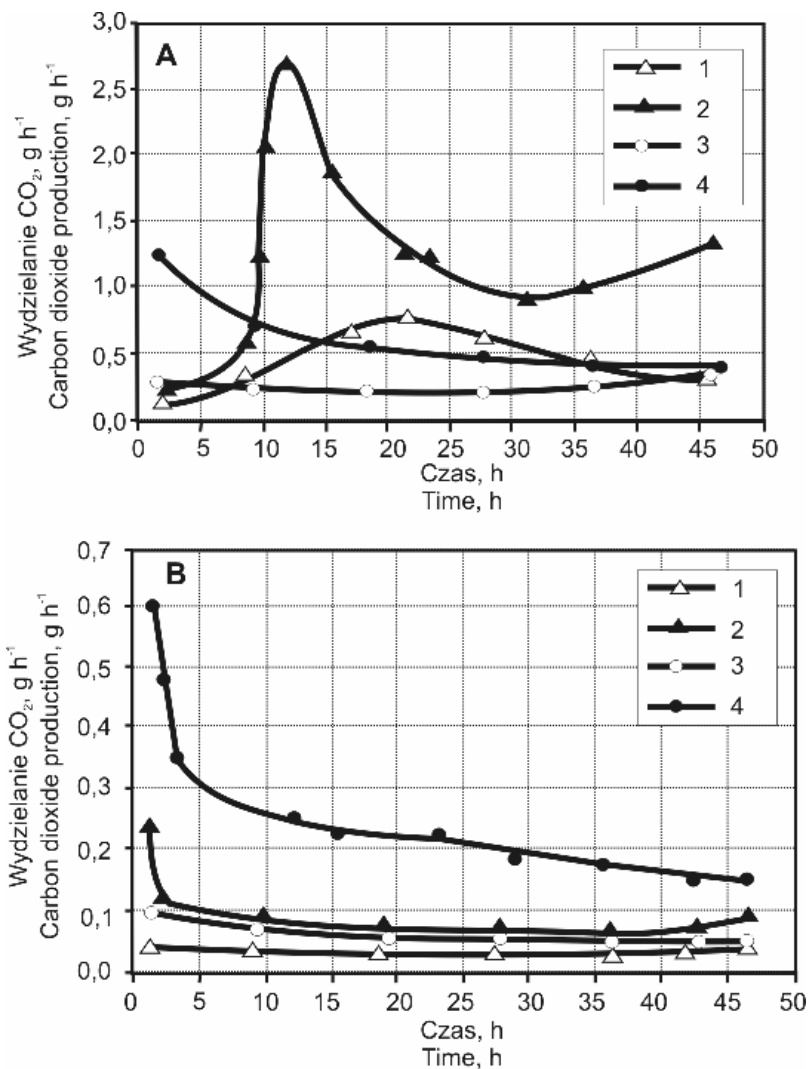
Uwaga ta dotyczy jedynie suszenia zielonki rozłożonej w postaci cienkiej warstwy, którą dwukrotnie w ciągu dnia poddawano przetrząsaniu. Porównując wyniki badań dotyczących wpływu intensywności stosowanych zabiegów mechanicznych na określone straty, należy stwierdzić, że w warunkach przeprowadzonego doświadczenia nie zaobserwowano istotnych różnic. Największe straty biologiczne wystąpiły przy suszeniu zielonki poddanej wstępnej obróbce mechanicznej (na pokosach bez przetrząsania). Wynosiły one 7,6% dla paszy, której wilgotność końcowa (w czasie wykonywania pomiarów) wynosiła jeszcze 60%.

Analizowane wyniki doświadczenia prowadzą również do wniosku informującego o tym, że straty związane z kontynuowaniem procesów życiowych komórek skoszonych pasz zielonych są tym mniejsze im szybciej przebiega proces suszenia. Inna natomiast praca Honiga (1979) wskazuje na brak istotnych różnic w intensywności oddychania skoszonych roślin poddawanych i nie poddawanych zabiegom mechanicznym o ile proces połowego suszenia przebiega w korzystnych warunkach atmosferycznych (brak opadów, wysoka temperatura). Badacz ten podaje również, że po 3 dniach deszczowej pogody intensywność oddychania zielonki tylko koszonej była niższa w porównaniu z tą, którą poddawano wstępnej obróbce mechanicznej. Stwierdza także, że różnice te były jeszcze większe jeśli przebywanie paszy na polu przedłużyło się do 8 dni (spowodowane niekorzystnymi warunkami suszenia). Uzyskanie tego typu rezultatów autor przypisuje w dużym stopniu rozwojowi drobnoustrojów w analizowanym materiale.

Wyniki badań prowadzonych w Stanach Zjednoczonych (Kraus i in. 1999), dotyczyły oceny wpływu stosowania intensywnej obróbki mechanicznej (maceracji) na natężenie procesów oddychania zielonek z lucerny o różnej zawartości suchej masy.

Z zależności przedstawionych na rysunku 12 wynika, że ilość wydzielanego dwutlenku węgla (w wyniku oddychania) zależy od: wilgotności zielonki, stosowanej obróbki mechanicznej, temperatury powietrza otaczającego badane próbki oraz czasu trwania procesu. Wzrostowi zawartości suchej masy w badanym materiale towarzyszy znaczny spadek natężenia procesów życiowych komórek, a tym samym zmniejszenie wydzielania dwutlenku węgla.

Jest to szczególnie widoczne na podstawie wyników badań, przedstawionych na rysunku 12A, które odnoszą się do wydzielania dwutlenku węgla z zielonki poddanej intensywnej obróbce mechanicznej. Godnym podkreślenia jest fakt, że wraz z upływem czasu prowadzenia badań, zarejestrowano zmniejszenie natężenia procesów oddychania, tylko zielonki z grupy kontrolnej, czyli nie poddanej obróbce mechanicznej. Procesy oddychania, które odnosiły się do paszy poddanej intensywnej obróbce mechanicznej, w większości prowadzonych doświadczeń, miały zupełnie inny przebieg.

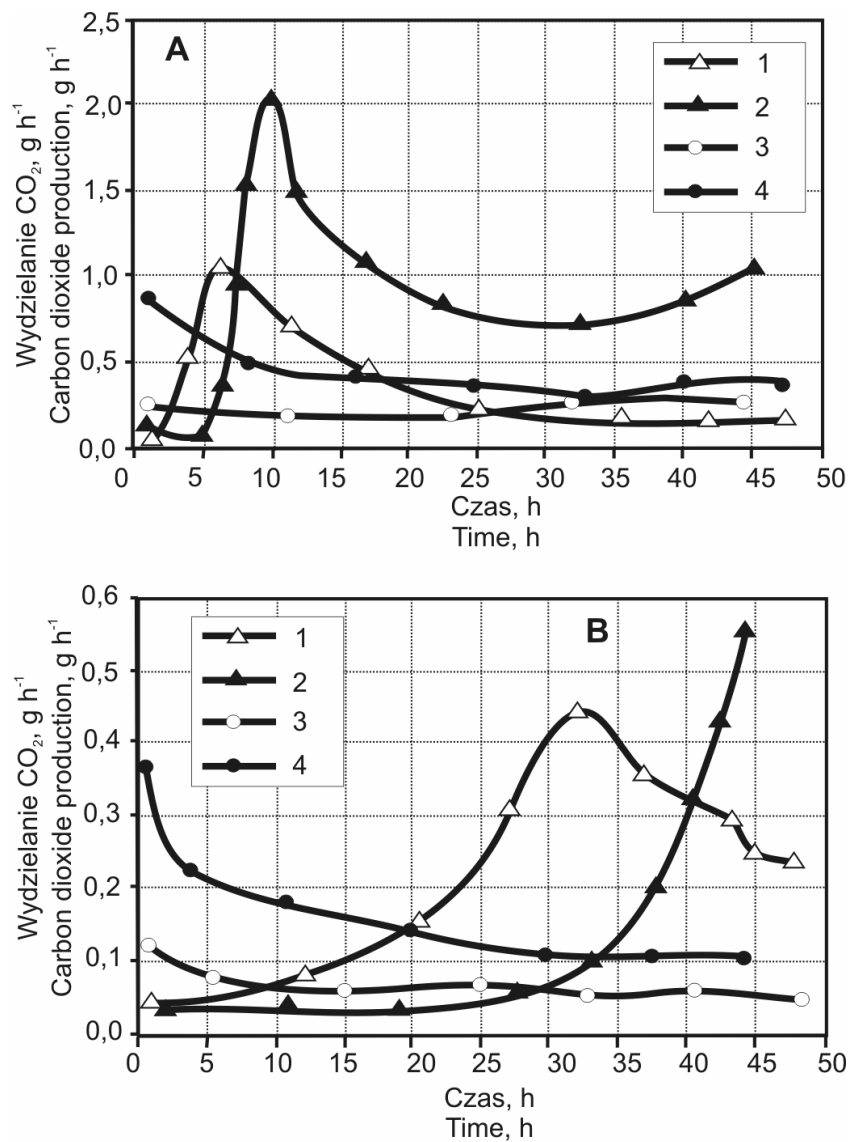


Rys. 12. Natężenie wydzielania dwutlenku węgla przez lucernę (Kraus i in. 1999): A – dla temperatury inkubacji 31°C, B – dla temperatury inkubacji 11°C, 1 – pasza macerowana; wilgotność 49%, 2 – pasza macerowana; wilgotność 79%, 3 – bez maceracji; wilgotność 55%, 4 – bez maceracji, wilgotność 79%

Fig. 12. Production intensity of carbon dioxide by alfalfa (Kraus *et al.* 1999): A – for incubation temperature of 31°C, B – for incubation temperature of 11°C, 1 – macerated forage; moisture of 49%, 2 – macerated forage; moisture of 79%, 3 – unmacerated; moisture of 55%, 4 – unmacerated; moisture of 79%

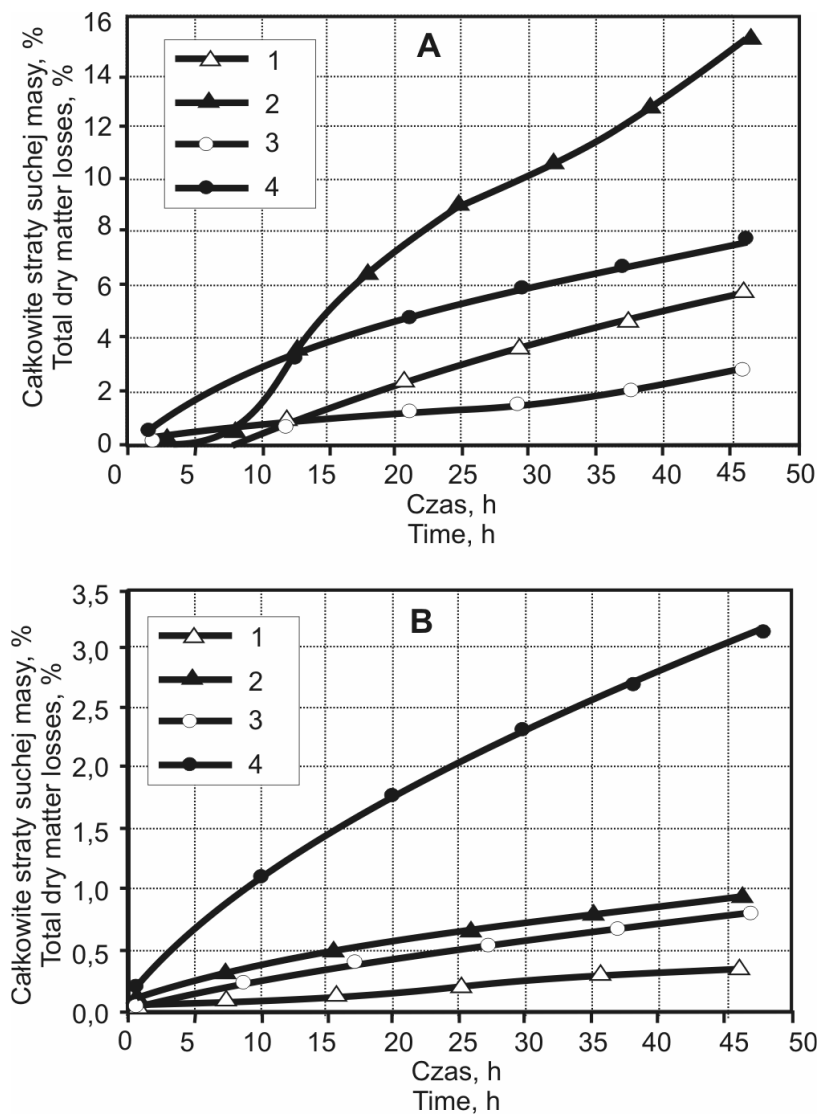
W początkowym okresie badań, natężenie wydzielania dwutlenku węgla było znacznie mniejsze w porównaniu do materiału nie poddawanego obróbce mechanicznej (grupa kontrolna). Intensywność wydzielania dwutlenku węgla gwałtownie wzrosła po kilkunastogodzinnym okresie prowadzenia badań (nawet do wartości $2,5 \text{ g CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ dla materiału o wilgotności 79%, który przetrzymywano w powietrzu o temperaturze 31°C).

Wyniki tych badań wykazały również, że temperatura ma bardzo duży wpływ na intensywność procesów oddychania skoszonych roślin. Obniżenie temperatury powietrza (otaczającego badane próbki) do 11°C , spowodowało znaczne ograniczenie procesów oddychania komórek roślinnych. Najwyższa wartość wydzielania dwutlenku węgla przez próbki, z materiału przetrzymywanego w powietrzu o temperaturze 11°C nie przekroczyła $0,7 \text{ g CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$. Na uwagę zasługują zmiany natężenia wydzielania dwutlenku węgla przez próbki poddawane intensywnej obróbce mechanicznej (zależności przedstawione na rysunkach 12A i 12B). Intensywność procesów oddychania komórek roślinnych, była również w dużym stopniu uzależniona od terminu pomiaru ilości wydzielanego CO_2 . W początkowym okresie prowadzenia badań zaobserwowano małe natężenie oddychania – ilość wydzielanego dwutlenku węgla nie przekraczała wartości $0,25 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ nawet dla próbek przetrzymywanych w powietrzu, którego temperatura wynosiła 31°C . Po kilkunastogodzinnym okresie prowadzenia pomiarów, zarejestrowano znaczny wzrost intensywności oddychania komórek materiału roślinnego, który był przetrzymywany w temperaturze 31°C . Następne wyniki pomiarów wykazały tylko zmniejszanie się wydzielania dwutlenku węgla przez próbki o wyższej zawartości suchej masy. W końcowym okresie badań zarejestrowano wzrost natężenia wydzielania dwutlenku węgla przez próbki poddane intensywnej obróbce mechanicznej, które były bardziej wilgotne (78% i 79% zawartości wody). Stwierdzenie to odnosi się do wyników badań uzyskanych w temperaturze 31°C . Z zależności przedstawionych na rysunku 13B wynika, że najwyższa wartość wydzielania CO_2 , przez próbki poddane intensywnej obróbce mechanicznej, została zarejestrowana dopiero po 30 godzinach pomiarów (dla materiału o wilgotności 56%) i po około 45 godzinach dla materiału o mniejszej zawartości suchej masy. Na szczególne podkreślenie zasługują zależności przedstawione na rysunku 12B. Wynika z nich, że stosowana obróbka mechaniczna ograniczyła intensywność wydzielania dwutlenku węgla z badanych próbek zielonki lucerny w zestawieniu z materiałem należącym do grupy kontrolnej. Na podstawie wyników badań uzyskanych przez Krausa i innych (1999), obliczono straty suchej masy związane z procesem oddychania zielonki z lucerny. Założono przy tym, że oddychanie odnosi się tylko do oksydacji heksoz a produktami tego procesu jest dwutlenek węgla i woda. Z zależności przedstawionych na rysunku 14 i 15 wynika, że straty suchej masy powodowane oddychaniem skoszonych roślin zależą od wilgotności



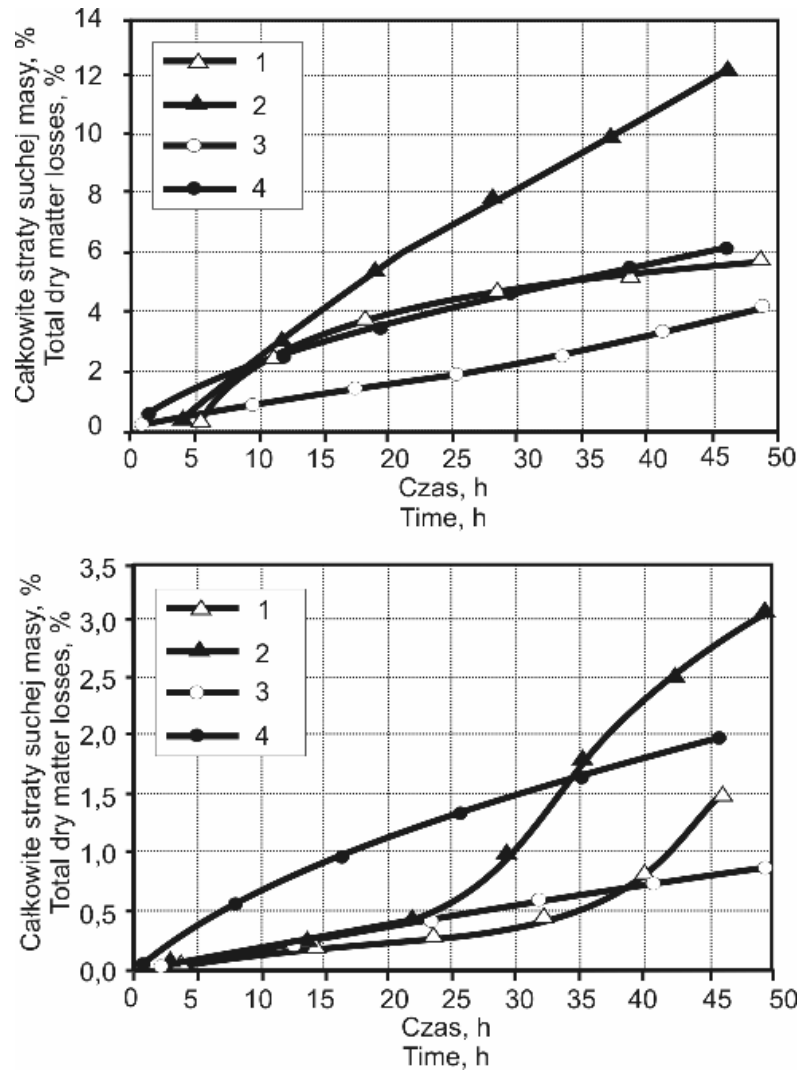
Rys. 13. Natężenie wydzielania dwutlenku węgla przez lucernę w funkcji czasu i temperatury inkubacji (początkowa wilgotność zielonki w zakresie 56 do 78%) (Kraus i in. 1999): A – dla temperatury inkubacji 31°C, B – dla temperatury inkubacji 11°C

Fig. 13. Production intensity of carbon dioxide by alfalfa versus time and incubation temperature (initial moisture content of green fodder from 56 to 78%) (Kraus *et al.* 1999): A – for incubation temperature of 31°C, B – for incubation temperature of 11°C



Rys. 14. Całkowite straty suchej materii powodowane oddychaniem lucerny w funkcji czasu i temperatury inkubacji (początkowa wilgotność zielonki w zakresie 49 do 79%) (Kraus i in. 1999): A – dla temperatury inkubacji 31°C, B – dla temperatury inkubacji 11°C

Fig. 14. Total dry matter losses caused by respiration of alfalfa versus time and incubation temperature (initial moisture content of green fodder from 49 to 79%) (Kraus *et al.* 1999): A – for incubation temperature of 31°C, B – for incubation temperature of 11°C



Rys. 15. Całkowite straty suchej materii powodowane oddychaniem lucerny w funkcji czasu i temperatury inkubacji (początkowa wilgotność zielonki w zakresie 56 do 78%) (Kraus i in. 1999): A – dla temperatury inkubacji 31°C, B – dla temperatury inkubacji 11°C

Fig. 15. Total dry matter losses caused by respiration of alfalfa versus time and incubation temperature (initial moisture content of green fodder from 56 to 78%) (Kraus *et al.* 1999): A – for incubation temperature of 31°C, B – for incubation temperature of 11°C

zielonki, intensywności stosowanej obróbki mechanicznej, temperatury powietrza oraz czasu trwania procesu. Najwyższe straty suchej masy odnoszą się do materiału

o dużej wilgotności i poddanego intensywnej obróbce mechanicznej, który był przetrzymywany w powietrzu o temperaturze 31°C. Wynosiły one ponad 11% w końcowym okresie prowadzenia badań i były ponad dwukrotnie wyższe w zestawieniu ze stratami odnoszącymi się do innych wariantów doświadczenia 2, w którym próbki zielonki z lucerny przetrzymywano w powietrzu o temperaturze 31°C. Na uwagę zasługują zależności przedstawione na rysunku 15B, które dotyczą strat wynikających z oddychania zielonki w temperaturze 11°C. Najwyższa wartość strat odnosi się do zielonki z grupy kontrolnej i o dużej wilgotności. W końcowym okresie prowadzenia badań były one obliczone na poziomie około 3,3%. Jest to wartość, prawie 10-krotnie wyższa w zestawieniu ze stratami odnoszącymi się do zielonki poddanej intensywnej obróbce mechanicznej, której wilgotność wynosiła 49%.

Badania Deshpande'a i in. (2002) dotyczyły szybkości oddychania rozdrobionych roślin lucerny, które zostały umieszczone w woreczkach z polietylenu grubości 0,1mm. Pomiary obejmowały ilość wydzielanego dwutlenku węgla w zależności od wilgotności paszy (14-60%), temperatury otaczającego powietrza (8°C i 23°C) oraz początkowego składu mieszaniny gazów znajdujących się w woreczkach. Połowa próbek paszy znajdowała się w warunkach zmodyfikowanej atmosfery (1% O₂, 5% CO₂ i 94% obj. N₂). Pozostałe próbki umieszczano w woreczkach, które w chwili rozpoczęcia pomiarów zawierały powietrze atmosferyczne. Wyniki tych badań wykazały, że zwiększenie temperatury z 8°C do 23°C spowodowało 80% wzrost szybkości zużycia tlenu przez żywe komórki roślinne. Proces oddychania roślin przetrzymywanych w zmodyfikowanej atmosferze był znacznie mniej intensywny w zestawieniu z pozostałą grupą doświadczenia. Kompletnie zużycie tlenu przez materiał o wilgotności 20% nastąpiło dopiero po 624 godzinach, jeśli temperatura otaczającego powietrza wynosiła 8°C. Jest to okres prawie dziewięciokrotnie dłuższy w porównaniu do całkowitego zużycia tlenu przez materiał roślinny przetrzymywany w woreczkach z powietrzem atmosferycznym.

3.2. Modele matematyczne strat oddychania

Wyniki licznych badań prowadzonych nad określaniem wpływu temperatury i wilgotności skoszonego materiału na intensywność oddychania i ubytki suchej masy pozwoliły na opracowanie modeli matematycznych różnej postaci (Honig 1979, McGechan 1989, Ohm 1972, Parke i in. 1978, Pitt 1982). Wood i Parker (1971) proponują następującą zależność dla rajgrasu:

$$Q_{odd} = k(0,056m - 1,53) \quad (2)$$

gdzie: $k = 1$ dla $25^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$, $k = 0,177e^{0,069T}$ dla $5^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$.

Straty suchej masy określane na podstawie obliczonej ilości wydzielonego dwutlenku węgla zgodnie z podanym równaniem dla $k = 0,177e^{0,069T}$ i uwzględnieniu procesu oddychania jako reakcji utleniania heksoz są w znacznym stopniu zbieżne z wynikami uzyskanymi przez Zimmera (1967), Greenhilla (1959) oraz Honiga (1979) – rysunek 16.

Materiałem poddawanym badaniom przez Wilkinsona i Halla (1966) była lucerna, a w doświadczeniu Greenhilla (1959) określano intensywność oddychania i ubytki suchej masy towarzyszące suszeniu rajgrasu, koniczyny czerwonej i lucerny. Wymienieni badacze stwierdzają, że poddane przez nich zależności mogą być stosowane również do oceny strat biologicznych występujących podczas suszenia innych pasz zielonych. Należy jednak zwrócić uwagę na pewną niepoprawność zapisu podanej wcześniej zależności, która „uniemożliwia” dokonania wyboru wartości współczynnika k , jeśli analizowany proces przebiega w temperaturze 25°C . Obliczenie k dla $T = 25^{\circ}\text{C}$ wskazuje, że wartość ta wynosi 1 (zapis nierówności wyklucza taką operację dla podanej wartości T). W takiej sytuacji poprawny charakter miałyby następująca zależność:

$$k = 1 \text{ dla } 25^{\circ}\text{C} \leq T < 45^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$k = 0,177e^{0,069T} \text{ dla } 5^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Wprowadzenie takiej korekty pozwoli na stwierdzenie również w oparciu o zapis, że analizowany proces ma charakter ciągły w podanym zakresie temperatury (Czernawski i in. 1974, Czernawski i in. 1979).

Model matematyczny opracowany przez Audsley'a (za McGechanem (1989)) uwzględnia nieliniową zależność pomiędzy natężeniem oddychania a wilgotnością suszonej paszy:

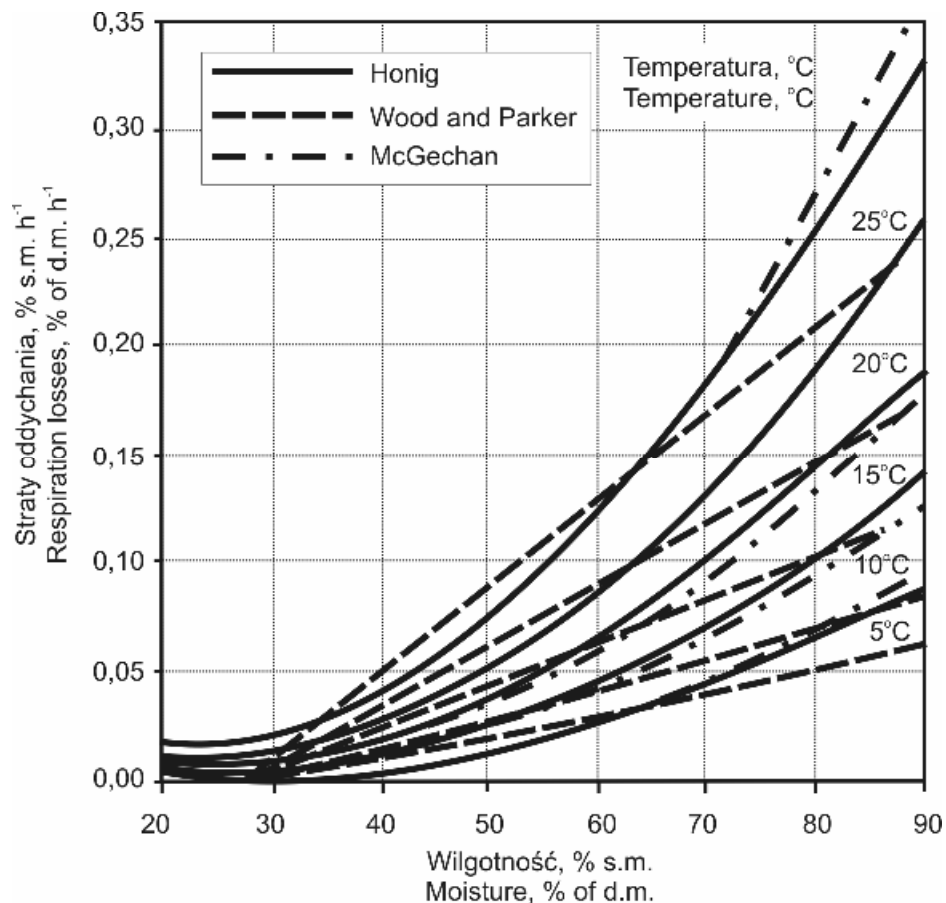
$$Q_{odd} = 0,177(10 \cdot e^{0,0051m} - 11,53)e^{0,069T} \quad (5)$$

Wartości Q_{odd} obliczone z powyższej zależności w pełni odpowiadają danym pochodzącym z badań prowadzonych przez Wooda i Parkera (1971).

Wyniki badań otrzymanych przez Deshpande'a i in. (2002) posłużyły do opracowania modelu matematycznego, który uwzględnia zależność pomiędzy natężeniem wydzielania dwutlenku węgla przez komórki skoszonej lucerny a czasem kontynuowania przez nie funkcji życiowych:

$$Q_{odd} = A + B \log t \quad (6)$$

gdzie: A i B – współczynniki uzyskane w różnych warunkach prowadzenia badań, które zamieszczono w tabeli 16.



Rys. 16. Zależność strat oddychania skoszonej trawy w funkcji jej wilgotności i temperatury powietrza (Honig 1979, Wood i Parker 1971, McGechan 1989)

Fig. 16. Respiration losses of mown grass in relation to moisture content and air temperature (Honig 1979, Wood and Parker 1971, McGechan 1989)

Typową zależność pomiędzy intensywnością wydzielania dwutlenku węgla przez lucernę o wilgotności 20%, którą umieszczono w zmodyfikowanej atmosferze (1% O₂, 5% CO₂ i 94% obj. N₂), przedstawiono na rysunku 17.

Z podanych zależności wynika, że w początkowej fazie proces oddychania żywych komórek lucerny jest intensywny i nie jest hamowany brakiem węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie oraz tlenu. Ubytek tlenu powoduje szybkie hamowanie procesów życiowych komórek, czego efektem jest mała intensywność wydzielania dwutlenku węgla.

Tabela 16. Współczynniki regresji modelu natężenia wydzielania dwutlenku węgla przez lucernę przetrzymywaną w różnych warunkach (Deshpande i in. 2002)

Table 16. Regression constants for the model of carbon dioxide production by alfalfa in various storage conditions (Deshpande *et al.* 2002)

Wilgotność zielonki Green fodder moisture (%)	Temperatura przechowywania Storage temperature (°C)	Współczynniki regresji Regression coefficients		R ^{2*}
		A	B	
W zmodyfikowanej atmosferze – At modified atmosphere				
14	8	1563,4	-563,56	0,78
	23	1913,2	-697,42	0,69
W powietrzu atmosferycznym – At atmospheric air				
14	8	225,4	-81,21	0,71
	23	233,73	-84,39	0,69
W zmodyfikowanej atmosferze – At modified atmosphere				
20	8	1127,8	-400,15	0,85
	23	1900,8	-692,98	0,69
W powietrzu atmosferycznym – At atmospheric air				
20	8	140,75	-49,41	0,78
	23	233,73	-84,39	0,69
W powietrzu atmosferycznym – At atmospheric air				
61	8	96,16	-32,66	0,93
	23	227,32	-81,95	0,71

Na szczególną uwagę zasługuje model matematyczny opracowany przez McGechana (1989), który uzależnia natężenie strat oddychania od temperatury, wilgotności i zawartości węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie:

$$S_{od} = \left\{ \frac{0,053C_w}{1 + C_w} \right\} (0,01D_k - 0,5) e^{0,069T} (0,012m^2 - 0,555m + 1) \quad (7)$$

gdzie:

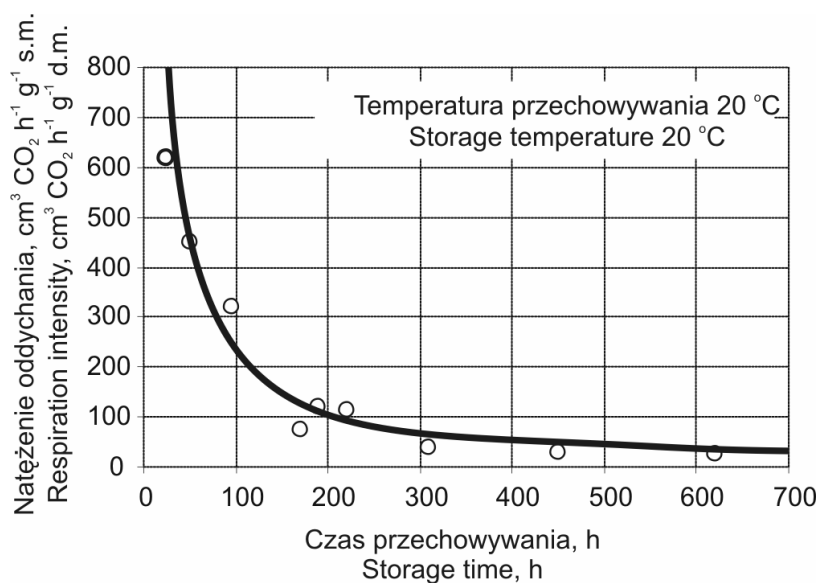
C_w – zawartość rozpuszczalnych węglowodanów w wodzie (% s.m.),

D_k – strawność substancji organicznej zielonki bezpośrednio po skoszeniu (%).

Wielu autorów uważa, że podany model matematyczny można stosować do oceny strat oddychania towarzyszących polowemu suszeniu zielonek i dosuszaniu wilgotnego siana zbieranego w różnej postaci.

Honig (1979) stwierdza, że straty wynikające z kontynuowania procesów życiowych mogą być przedstawione w funkcji wilgotności ($m > 20\%$) i temperatury suszenia skoszonych roślin z przedziału od 5 do 30°C. Proponowany przez niego model uwzględnia nieliniową zależność pomiędzy natężeniem strat a wilgotnością:

$$S_{od} = 10^{-4}(0,027m^2 - 1,24m + 23)T \quad (8)$$



Rys. 17. Wpływ czasu przechowywania zielonki z lucerny w zmodyfikowanej atmosferze na natężenia oddychania (Deshpande i in. 2002)

Fig 17. Effect of storage time of alfalfa green fodder in modified atmosphere on respiration intensity (Deshpande *et al.* 2002)

Zależność podana przez Ohma (1972) dla temperatury z zakresu od 5 do 25°C i wilgotności $m > 32\%$ jest następująca:

$$S_{od} = (1,042 - 0,017T)(m - 32)[10^8 \exp(-6973,7/T + 273)] \quad (9)$$

Model matematyczny Wooda i Parkera (1971) uwzględnia liniową zależność pomiędzy natężeniem strat suchej masy a wilgotnością suszonych roślin. Jego postać jest następująca:

$$S_{od} = 0,012e^{0,069T} (0,056m - 1,53) \quad (10)$$

W tabeli 17 zestawiono wartości obliczonych strat całkowitych, które są wynikiem kontynuowania procesów życiowych komórek paszy zielonej suszonej od

wilgotności początkowej $m_1 = 80\%$ do wilgotności końcowej $m_2 = 32\%$. W tym celu wykorzystano zależności natężenia strat oddychania podane przez Honiga, Ohma oraz Wooda i Parkera. Zaistniała więc potrzeba przedstawienia zmian wilgotności materiału roślinnego w funkcji czasu. Posłużono się zależnością proponowaną przez Klinnera, Clarka i McDonalda za Reesem (1982), która uwzględnia zmiany wilgotności pasz zielonych w czasie połowego suszenia:

$$m = 80 - 0,536t \quad (11)$$

gdzie: t – czas liczony od chwili koszenia (h).

Z zależności (11) obliczono taką wartość t_2 , dla której wilgotność końcowa $m_2 = 32\%$; stanowi ona górną granicę całkowania w równaniu:

$$S_{odcal} = \int_{t_1}^{t_2} S_{od}(t) dt \quad (12)$$

gdzie: t_1 – czas suszenia, dla którego $m = m_1$ ($t_1 = 0$),

S_{odcal} – całkowite straty oddychania (% s.m).

Tabela 17. Zestawienie strat oddychania obliczonych wg Honiga (1979), Ohma (1972) oraz Wooda i Parkera (1971)

Table 17. Total respiration losses estimated according to Honig (1979), Ohm (1972) Wood and Parker (1971)

Autor – Author	Temperatura – Temperature (°C)		
	15	20	25
Honig	5,7	7,7	9,6
Ohm	5,1	6,9	9,0
Wood, Parker	4,9	6,9	9,7

Z informacji zamieszczonych w tabeli 17 wynika, że wartości obliczone w oparciu o zależności podane przez wymienionych badaczy są zbliżone.

Budowę modelu matematycznego opracowanego przez Pitta (1982) oparto na wynikach prac doświadczalnych prowadzonych przez Wolfa i Carsona (1973) oraz Dale'a, Holta i Pearte'a (cytowane za Pittem (1982)). Dzielne straty substancji organicznej (S_{oddz}) wynikające z oddychania skoszonych roślin uzależniono od następujących czynników: początkowej wilgotności materiału w n-tym dniu badań, sumy strat oddychania do dnia badań, fazy wegetacyjnej koszonych roślin oraz temperatury otoczenia.

$$S_{oddz} = \min(0,16; (k_m \cdot k_{od} \cdot k_f \cdot k_T)) \quad (13)$$

gdzie: k_f – współczynnik uwzględniający stan rozwoju wegetacyjnego koszonej zielonki (Pitt podaje, że wartość ta dla lucerny wynosi od 1 do 0,3),
 k_T – współczynnik uwzględniający warunki suszenia (dla korzystnych warunków – 1, deszczowa pogoda – 0,75),
 k_m – współczynnik uwzględniający wilgotność materiału,
 k_{od} – współczynnik uwzględniający całkowite straty oddychania do dnia badań.

Współczynniki występujące w wyrażeniu (13) obliczane są ze wzorów (14-15).

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{dla } m \geq 70\% \\ \frac{m-40}{30} & \text{dla } 40\% < m < 70\% \\ 0 & \text{dla } m \leq 40\% \end{cases} \quad (14)$$

$$k_{od} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \sum_{i=1}^{n-1} S_{oddz(i)} \leq 8\% \\ 200 - 1250 \sum_{i=1}^{n-1} S_{oddz(i)} & \text{dla } 8\% < \sum_{i=1}^{n-1} S_{oddz(i)} < 16\% \\ 0 & \text{dla } \sum_{i=1}^{n-1} S_{oddz(i)} \geq 16\% \end{cases} \quad (15)$$

Suma strat oddychania do n -tego dnia badań jest obliczona wg następującej zależności:

$$\sum_{i=1}^{n-1} S_{oddz(i)} = 1 - \prod_{i=1}^{n-1} (1 - S_{oddz(i)}) \quad (16)$$

Lewa strona tego równania ma sens tylko wtedy, jeśli dokonuje się sumowania dziennych strat oddychania odniesionych do zawartości suchej masy na początku badań.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że przedstawiane wyniki badań dotyczące strat oddychania skoszonych roślin paszowych różnią się dość znacznie. Świadczy to o dużych trudnościach w wyznaczeniu ich rzeczywistej wielkości. Proces oddychania skoszonych roślin jest zjawiskiem bardzo złożonym, które nie jest wystarczająco poznane, aby z wymaganą dokładnością można było określić wielkość strat substancji organicznej podczas polewego suszenia. Uznawanie oddychania wyłącznie jako przemianę utleniania węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie prowadzi do określania takiego poziomu

start substancji organicznej, który nie zawsze odpowiada wielkości oznaczanej bezpośrednio.

Analizowane modele matematyczne mają charakter formuł empirycznych, które nie pozwalają na dokładne opisanie modelowanego procesu. Trudności związane z wyborem wartości współczynników wynikają niekiedy z niepoprawnie dokonanego zapisu.

4. STRATY POWODOWANE OPADAMI DESZCZU

Wielkość strat składników pokarmowych towarzyszących naturalnemu suszeniu pasz zielonych na siano jest w znacznym stopniu uzależniona od warunków atmosferycznych (Collins 1990, Cooper i McGechan 1996, Corporaal i in. 1989, Ostrowski i Daczewska 1976, 1992, Ostrowski i in. 1993, Owen i Wilman 1983). Długie przebywanie paszy na polu wpływa niekorzystnie na jej właściwości dietetyczne, aromat, smak, skład chemiczny oraz strawność. Niektórzy badacze zaliczają straty powodowane ługującym działaniem deszczu do tej samej kategorii co straty mechaniczne, które przybierają duże rozmiary, wtedy gdy pasza jest znacznie podsuszona (McGechan 1993, Rees 1982, Sundberg i Thylén 1994). Opady deszczu wpływają również pośrednio na straty wynikające z przedłużenia życia komórek roślinnych oraz rozwoju drobnoustrojów, a zwłaszcza pleśni. Proces wymywania składników pokarmowych jest najbardziej intensywny, gdy komórki roślinne są już martwe (Møller i Skovborg 1971, Rees 1982, Rotz 1995, Scarbrough i in. 2006, Suwarno i in. 1999). W wielu opracowaniach spotyka się stwierdzenia, że rozpuszczalne składniki mineralne, a zwłaszcza związki potasu, mogą ulec wymywaniu nawet z żywych komórek (Collins 1983, Rees 1982). Inni badacze uważają jednak, że protoplazma zapobiega swobodnemu przechodzeniu zawartości komórek przez jej błonę, a deszcz nie powoduje żadnych strat, jeśli pada na świeżo skoszone rośliny. Pewną rolę przypisuje się również zewnętrznej warstwie roślin o konsystencji woskowej, która utrudnia wnikanie cząstek wody (Hadders 1986, Raymond i in. 1986, Savoie 1982, Watson i Nash 1971). Opady deszczu na częściowo wysuszoną zielonkę wydłużają proces suszenia i prowadzą do powstawania strat wartościowych składników, które są wymywane z tkanek roślinnych (Atzema 1993, Gieroba i Nowak 1992, Kerr i Brown 1965, Robertson 1983, Wright i in. 2000). Uaktywnia się również oddychanie, a głównymi substratami tego procesu są przeważnie węglowodany rozpuszczalne w wodzie. Zwiększenie wilgotności suszonej paszy korzystnie wpływa na rozwój drobnoustrojów, które destrukcyjnie oddziałują na jakość produktu końcowego.

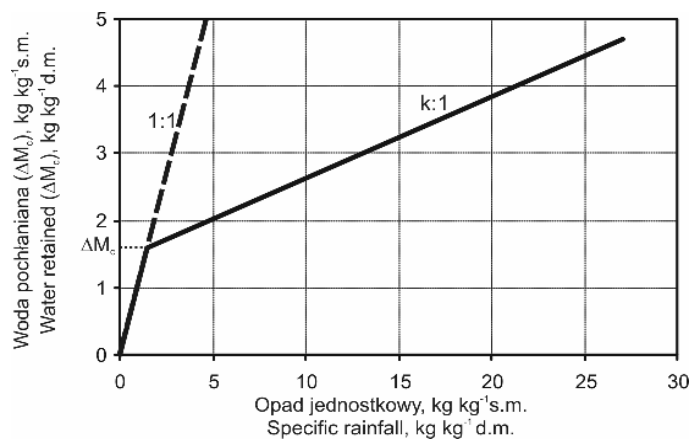
4.1. Proces wtórnego nawilgacania pasz opadami deszczu

Opady deszczu powodują zwiększenie wilgotności tkanek roślinnych w wyniku absorpcji przez nich wody (M_a), której zawartość zmniejsza się podczas suszenia. Wartość M_a wzrasta poprzez absorpcję wody znajdującej się na powierzchni roślin (woda luźno związana M_r oraz woda ściśle przylegająca M_s), a natężenie absorpcji jest proporcjonalne do różnicy pomiędzy M_a i jej maksymalną wartością (w stanie nasycenia) $M_{a,max}$. W pracy (Parke i in. 1978) określono proporcje pomiędzy opadem deszczu a jego częścią, która zostaje zatrzymana przez paszę. Wykazano, że wzrostowi intensywności deszczu i wilgotności nawilgacanego materiału odpowiadają mniejsze zmiany zawartości wody. Określono również maksymalną zawartość wody w paszy ($9,0 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$).

Wyniki badań laboratoryjnych i polowych wtórnego nawilgacania pasz opadami deszczu przedstawiono w pracach (Spencer i in. 1986a, 1986b, 1987, van Elderen i in. 1972). Badania laboratoryjne van Elderen i in. (1972) dotyczyły zmian względnego przyrostu wilgoci w paszy ΔM w funkcji opadu deszczu odniesionego do suchej masy paszy R (opad jednostkowy). W eksperymentach van Elderen i innych (1972) badany materiał podzielony był na dwie kategorie:

- pasza o niskiej wilgotności (12-23%),
- pasza o wysokiej zawartości wody (67-85%).

Rezultaty tych badań przedstawiono na rysunku 18. Wynika z nich, że pokos zatrzymywał całą porcję dostarczonej wody dopóki nie został osiągnięty punkt krytyczny ΔM_c , po którym tylko część wody deszczowej była wchłaniana.



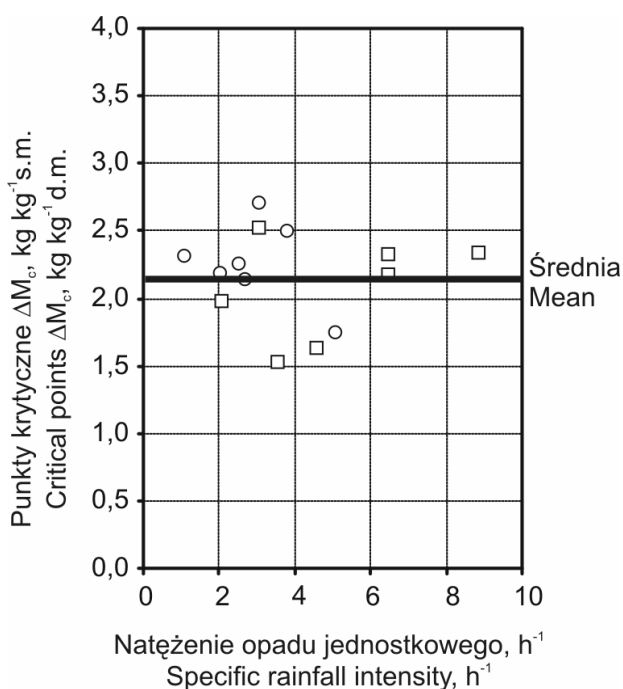
Rys. 18. Ilość pochłanianej wody przez skoszoną trawę w funkcji jednostkowego opadu deszczu (van Elderen i in. 1972)

Fig. 18. Moisture retained by mown grass (green fodder) as a function of specific rainfall (van Elderen *et al.* 1972)

W oparciu o badania van Elderena, w pracy Pitta i McGechana (1993) przedstawiono model wtórnego nawilgacania paszy pod wpływem opadów deszczu, w którym wykorzystano dwa parametry:

- punkt krytyczny ΔM_c ,
- współczynnik kierunkowy prostej (k), który określa względny przyrost wilgoci w paszy po osiągnięciu punktu krytycznego.

Z zależności przedstawionych na rysunku 19 wynika, że wartość punktu krytycznego nie zmieniała się znacząco pomiędzy próbkami o niskiej i wysokiej wilgotności.



Rys. 19. Wartości punktu krytycznego ΔM_c w zależności od natężenia jednostkowego opadu deszczu (van Elderen i in. 1972): \circ – próbka o małej wilgotności (12-13%), \square – próbka o dużej wilgotności (67-85%)

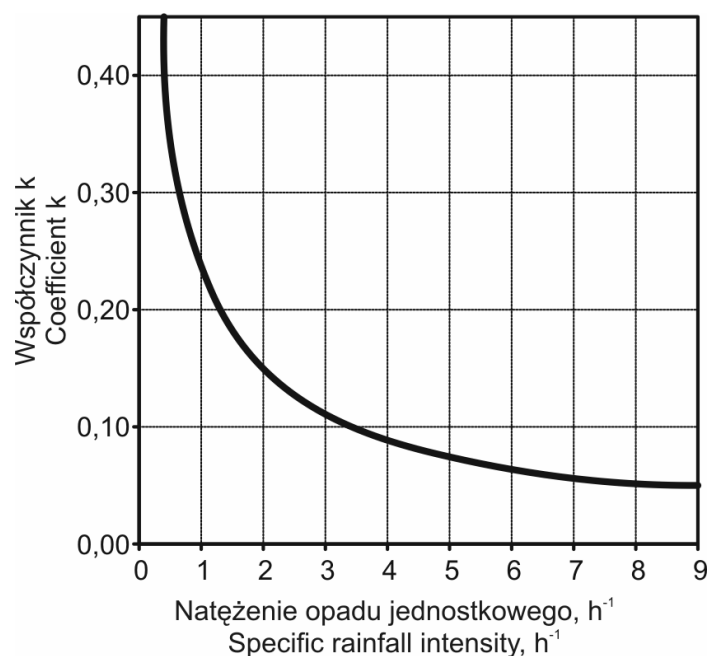
Fig. 19. Value of critical point ΔM_c versus specific rainfall intensity (van Elderen *et al.* 1972): \circ – low moisture content samples (12-13%), \square – high moisture content samples (67-85%)

Także natężenie opadu nie miało wpływu na punkt krytyczny ΔM_c . Dlatego ustalono przeciętną wartość $\Delta M_c = 2,14 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ (odchylenie standardowe $0,34 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$). Na rysunku 20 przedstawiono charakterystykę k w funkcji natężenia opadu jednostkowego deszczu. Ilość wody zatrzymywanej przez pokos nie różniła się pomiędzy próbkami o niskiej i wysokiej wilgotności. Odnotowano

natomiast spadek k przy wzrastającym natężeniu I . Tak więc, większe natężenie opadów deszczu redukowało ilość wody zatrzymywanej po przekroczeniu wartości punktu krytycznego. Na podstawie wyników pomiarów przedstawionych na rysunku 20 określono funkcję $k(I)$.

$$k(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{I_0}\right)^c} \quad (17)$$

gdzie: c oraz I_0 są stałymi i wynoszą odpowiednio 0,756 i 0,220 h^{-1} .

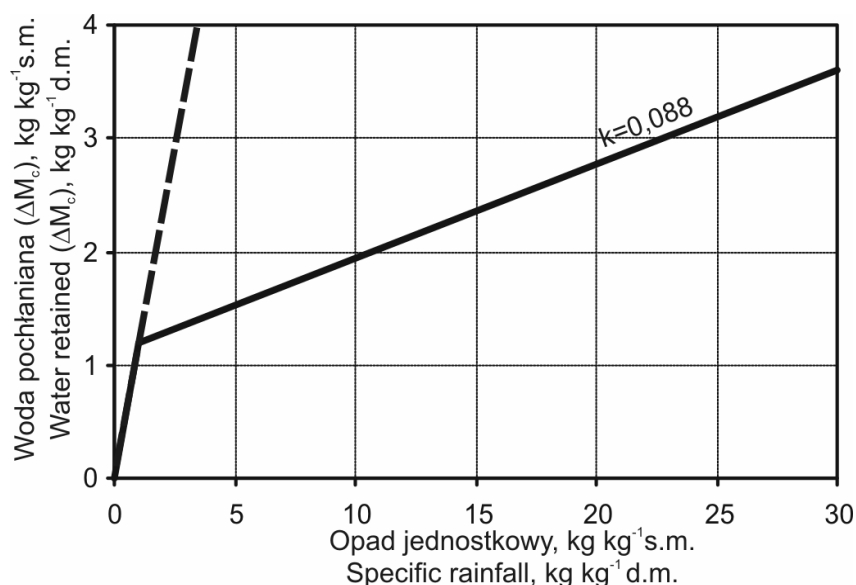


Rys. 20. Zależność współczynnika k w funkcji natężenia jednostkowego opadu deszczu (van Elderen i in. 1972)

Fig. 20. Relationship between coefficient k and specific rainfall intensity (van Elderen *et al.* 1972)

Na rysunku 21 przedstawiono zależność względnego przyrostu wilgoci ΔM w funkcji opadu jednostkowego deszczu R . Pomiary przeprowadzono w dwóch kolejnych latach. W 1985 roku opad jednostkowy deszczu R wynosił mniej niż 1,2 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ W następnym roku badań $R > 1,2 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Analiza wykresu pozwala jednoznacznie stwierdzić, że przy małych opadach jednostkowych ($R < 1,2 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) woda jest w całości pochłaniana przez pokos. Powyżej tej

wielkości znacznie maleje pochłanianie wody przez materiał zalegający na pokosie (współczynnik k wynosi 0,088).



Rys. 21. Ilość pochłanianej wody przez zielonkę w funkcji jednostkowego opadu deszczu (Spencer i in. 1986a, 1986b, 1987)

Fig. 21. Moisture retained by green fodder versus specific rainfall (Spencer *et al.* 1986a, 1986b, 1987)

Rezultaty badań Spencera i in. (1986a, 1986b, 1987) są zbliżone do zależności uzyskanych przez van Elderena i in. (1972). Lecz punkt krytyczny ΔM_c wynosi $1,2 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i wartość ta jest mniejsza o $0,9 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ w zestawieniu z ΔM_c uzyskanym na podstawie wyników badań van Elderena i innych. Ta niezgodność wynika jednak z warunków prowadzenia badań. Pomiary w doświadczeniu laboratoryjnym były realizowane podczas opadu deszczu i próbki paszy zawierały wodę luźno związaną. Realizacja pomiarów polowych odbywała się po ustaniu deszczu, a pobieranie próbek pozbawiło je wody zalegającej na powierzchni roślin.

Zagadnienie nawilgacania częściowo wysuszonej zielonki może być analizowane poprzez dwie kategorie modeli. Pierwszy z nich dotyczy zmian ogólnej zawartości wody w suszonej paszy i jest nazywany modelem skupionym. Drugi model uwzględnia zmiany poszczególnych kategorii wody podczas nawilgacania paszy opadami deszczu i nazywany jest dystrybucyjnym (rozdzielonym).

4.1.1. Model skupiony nawilgacania paszy

Model skupiony (Pitt i McGechan 1993) opisuje wilgotność ogólną paszy, która zmienia się podczas opadów deszczu. Nie uwzględnia zmian poszczególnych kategorii wody (M_a , M_s , M_r). Opracowanie modelu skupionego oparto na wynikach badań Spencera i in. (1986a, 1986b, 1987) oraz van Elderena i in. (1972). Postać tego modelu jest następująca:

$$\frac{dM}{dR} = \begin{cases} 1 & 0 \leq \Delta M \leq \Delta M_c, M < M_{\max} \\ k(I) & \Delta M > \Delta M_c, M < M_{\max} \\ 0 & M \geq M_{\max} \end{cases} \quad (18)$$

gdzie: $\Delta M_c = 1,2 \text{ kg kg}^{-1}\text{s.m.}$,

$M_{\max} = 6,5 \text{ kg kg}^{-1}\text{s.m.}$,

$k(I)$ jest obliczone ze wzoru (17).

Jeśli uwzględną się wodę luźno związaną z powierzchnią roślin to ΔM_c i M_{\max} wzrosną o $0,9 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$

4.1.2. Model rozdzielony nawilgacania paszy

Model rozdzielony (Pitt i McGechan 1993) opracowano w celu symulowania zmian wilgotności paszy suszonej na polu (łące) podczas i po okresie opadów deszczu z uwzględnieniem wody:

- absorbowanej przez tkanki roślin (M_a),
- luźno związanej z powierzchnią roślin (M_r),
- ściśle przylegającej do powierzchni roślin (M_s).

Przy tworzeniu tego modelu wykorzystano model skupiony i wyniki badań van Elderena i in. (1972) oraz Spencera i jego zespołu (1986a, 1986b, 1987). Założono również, że M_a wzrasta w wyniku pochłaniania wody powierzchniowej do chwili jej obecności na powierzchni roślin, a natężenie absorpcji jest proporcjonalne do różnicy pomiędzy M_a i jej maksymalną wartością (w stanie nasycenia) $M_{a,\max}$. Nie rezygnując z założeń zgodnych z modelem skupionym przyjęto również, że w początkowym okresie opadu deszczu cała ilość wody jest zatrzymywana przez rośliny tworzące pokos i ściśle przylega do ich powierzchni. Proces ten następuje do momentu osiągnięcia wartości krytycznej $M_{s,\max}$, a kontynuowany opad deszczu wpłynie na pojawienie się wody luźno związanej z powierzchnią roślin (M_r). Wartość M_r zmniejsza się wraz ze wzrostem natężenia opadu jednostkowego.

Na rysunku 22 przedstawiono model o wymienionych cechach jako analogię do szeregu zbiorników. Przyjęto również założenie, że deszcz padający na materiał zalegający w pokosie jest tylko częściowo przez niego zatrzymywany (udział określany współczynnikiem f_i). van Elderen (1972) podaje zależność do obliczania f_i , której postać jest następująca:

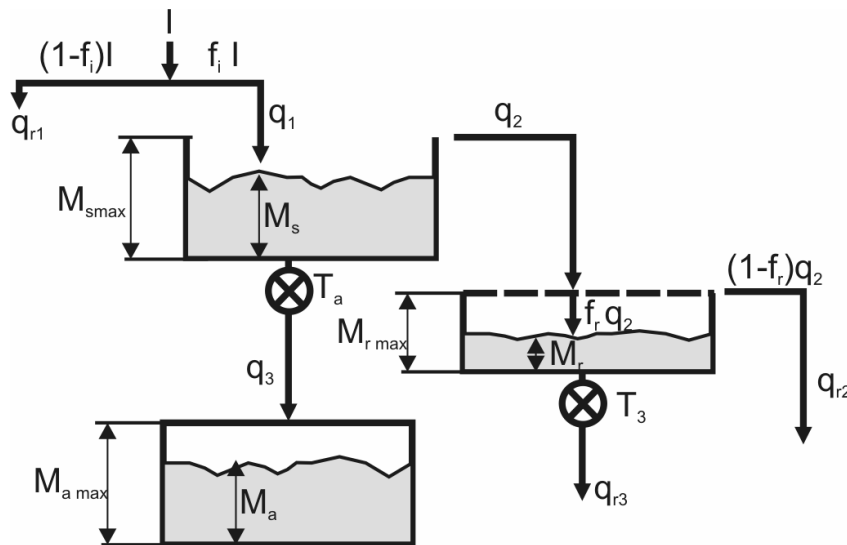
$$f_i = 1 - 0,4^{I/0,14} \quad (19)$$

Natężenie opadu jednostkowego zatrzymanego przez materiał zalegający na pokosie oblicza się według wzoru:

$$q_1 = f_i I \quad (20)$$

Natomiast natężenie opadu jednostkowego, który nie został zatrzymany przez materiał zalegający na pokosie wynosi:

$$q_r = (1 - f_i) I \quad (21)$$



Rys. 22. Rozdzielony model nawilgacania zielonki przedstawiony jako analogia do szeregu zbiorników (Pitt i McGechan 1993)

Fig. 22. Distributed model of green fodder rewetting depicted as a tank series analogy (Pitt and McGechan 1993)

Jeśli zawartość wody ściśle przylegającej do powierzchni roślin M_s nie osiągnie pewnej maksymalnej wartości $M_{s,max}$ (odpowiadającej ΔM_c w równaniu 18) to zwiększanie się tego parametru jest na poziomie q_1 . W przeciwnym razie opad

deszczu staje się wodą luźno związaną z powierzchnią roślin, a natężenie jej przyrostu q_2 określane jest zależnością:

$$q_2 = \begin{cases} 0, & M_s < M_{s \max} \\ q_1, & M_s = M_{s \max} \end{cases} \quad (22)$$

Na górnej powierzchni zbiornika z wodą M_r umieszczono porowaty ekran ograniczający dopływ wody. Zadaniem ekranu miało być sterowanie przepływem dla zachowania zależności jaka istnieje pomiędzy ilością zatrzymanej wody M_r przez materiał zalegający na pokosie a natężeniem opadu jednostkowego I. Właściwości tego ekranu dobrano w taki sposób, aby część q_2 , która przepływa przez niego została określona przez współczynnik k z równania (17).

$$f_r = \begin{cases} k(q_2) & M_r < M_{r \max} \\ 0 & M_r = M_{r \max} \end{cases} \quad (23)$$

Woda, która nie przenika przez ekran odpowiada wodzie deszczowej nie zatrzymanej przez materiał zalegający na pokosie:

$$q_{r2} = (1 - f_r)q_2 \quad (24)$$

Odparowywanie wody luźno związanej z powierzchnią roślin (po zakończeniu opadu deszczu) jest przedstawione przez dren na dnie zbiornika z wodą M_r , a natężenie jednostkowe tego procesu q_{r3} można określić z zależności:

$$q_{r3} = \frac{M_r}{T_3} \quad (25)$$

gdzie: T_3 – stała czasowa (h).

Woda ściśle przylegająca do powierzchni jest absorbowana przez tkanki roślin, a natężenie tego procesu q_3 zależy od różnicy pomiędzy $M_{a, \max}$ i aktualną wartością M_a . Zależność ta jest opisana następująco:

$$q_3 = \begin{cases} \frac{1}{T_a}(M_{a \max} - M_a) & M_s > 0 \\ 0 & M_s = 0 \end{cases} \quad (26)$$

gdzie: T_a – jest stałą tego procesu (h).

Na podstawie powyższych rozważań można przedstawić równania zachowania mas (wody):

$$\frac{dM_s}{dt} = q_1 - q_2 - q_3 \quad (27)$$

$$\frac{dM_a}{dt} = q_3 \quad (28)$$

$$\frac{dM_r}{dt} = F_r q_2 - q_3 \quad (29)$$

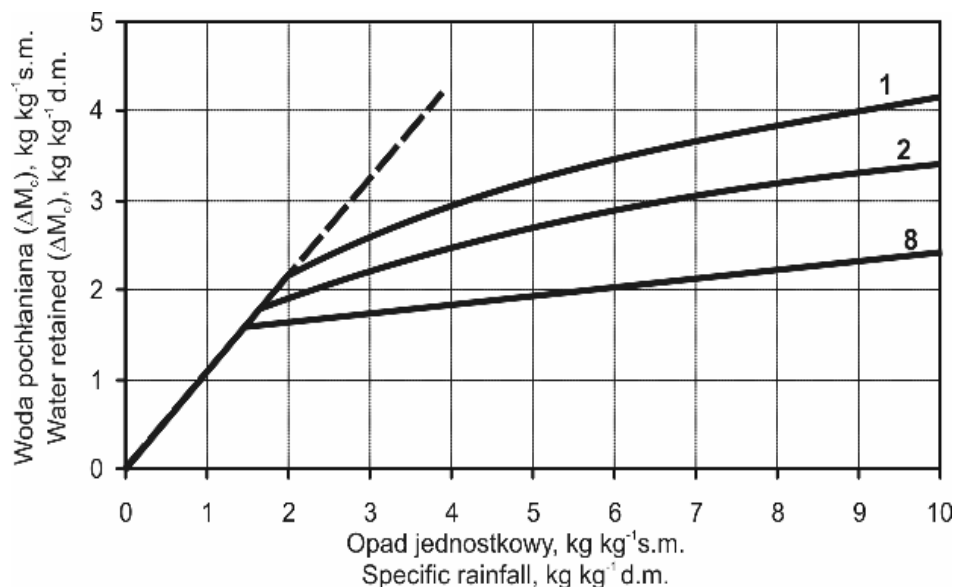
Ponieważ $M = M_a + M_s + M_r$, to szybkość zmian nagromadzonej wody w materiale zalegającym na pokosie można przedstawić następująco:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{dM_s}{dt} + \frac{dM_a}{dt} + \frac{dM_r}{dt} \quad (30)$$

4.1.3 Wyniki symulacji komputerowych

W pracy Pitta i McGechana (1993) przeprowadzono symulacje modelu rozdzielonego w celu wyznaczenia stałych czasowych T_3 i T_a . Konieczne więc stało się przyjęcie lub określenie $M_{r,max}$, $M_{s,max}$ i $M_{a,max}$. Pierwszą z wymienionych wielkości przyjęto z wyników badań van Elderena i innych (1972), której wartość wynosi $0,9 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ $M_{s,max} = 1,5 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ określono z symulacji modelu skupionego ($\Delta M_c = 2,14 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$). Maksymalną zawartość wody w paszy przyjęto z doświadczeń Spencera i in. (1986a, 1986b, 1987). Wartość ta wynosi $6,5 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ i nie obejmowała wody luźno związanej z materiałem zalegającym na pokosie. Zmniejszenie tej wartości o $M_{s,max} = 1,5 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ daje $M_{a,max}$.

Pitt i McGechan (1993) obliczyli stałe czasowe T_3 i T_a w oparciu o dane z badań van Elderena i innych (1972). Wynosiły one odpowiednio 1,4 h i 25 h. Okazało się jednak, że M_r i M_a dla tych wartości stałych czasowych było zbyt niskie w zestawieniu z wynikami otrzymanymi z równania 18. Dalsze symulacje przeprowadzono dla $T_a = 10 \text{ h}$ i $T_3 = 2,8 \text{ h}$, a ich wyniki przedstawiono na rysunku 23 i 24. Zależności na rysunku 23 są porównywalne z modelem skupionym z wyjątkiem punktu krytycznego, który zmniejsza się ze wzrostem natężenia opadu jednostkowego. Powodowane jest to absorpcją wody (ściśle przylegającej do powierzchni roślin) zanim M_s osiągnie wartość $M_{s,max}$.



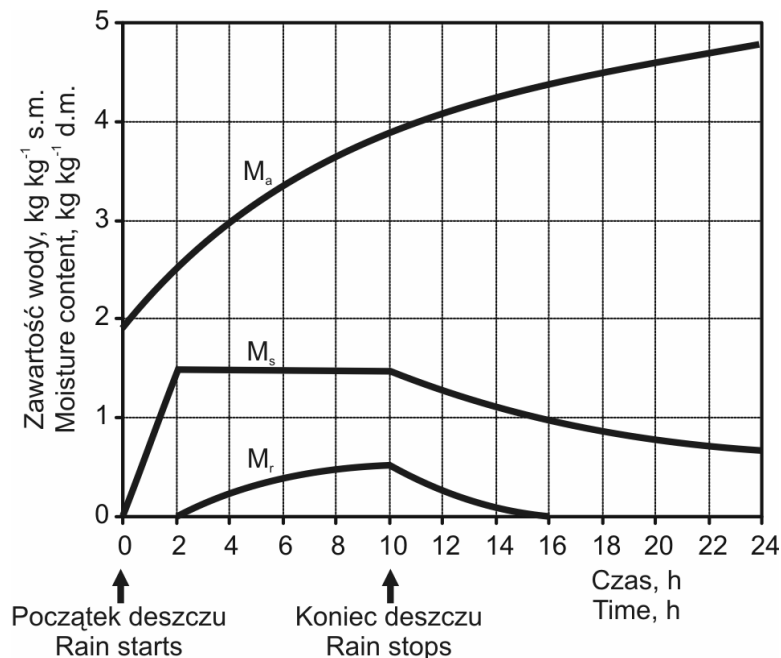
Rys. 23. Ilość pochłanianej wody w funkcji jednostkowego opadu deszczu (dla trzech poziomów jednostkowego opadu deszczu: 1 h⁻¹, 2 h⁻¹, 8 h⁻¹) (Pitt i McGechan 1993)

Fig. 23. Moisture retained versus specific rainfall (for three levels of specific rainfall intensity: 1 h⁻¹, 2 h⁻¹, 8 h⁻¹) (Pitt and McGechan 1993)

Na rysunku 24 przedstawiono M_a , M_s i M_r w funkcji czasu. Symulację przeprowadzono dla niskiego natężenia opadu jednostkowego ($I = 1 \text{ h}^{-1}$), który trwał 10 godzin. Woda ściśle przylegająca do powierzchni roślin M_s osiągnęła maksymalną wartość (po około 2 godzinach opadu deszczu), która utrzymywała się na stałym poziomie do czasu ustania deszczu. Po 10 godzinach zawartość wody powierzchniowej zaczęła się obniżać (zależność wykładnicza) ze względu na ciągłe wchłanianie jej przez tkanki roślin.

Woda luźno związana z powierzchnią roślin M_r osiągnęła wartość szczytową poniżej swojego maksimum dopiero po 10 godzinach (koniec opadów deszczu). Po sześciu godzinach od czasu ustania deszczu rośliny nie zawierały praktycznie wody luźno związanej. Niska wartość M_r (znacznie poniżej $M_{r,max}$) wynikała z nietrafnego doboru stałej czasowej $T_3 = 2,8 \text{ h}$.

Przeanalizowane dotychczas modele matematyczne opisujące proces wtórnego nawilgacania pasz łądowych suszonych na powierzchni łąki (poła) nie dostarczyły odpowiednich wartości stałych czasowych T_3 i T_a . Brak wiedzy w tej kwestii zainspirował Pitta i McGechana (1993) do podjęcia szczegółowych badań, których wyniki posłużyły do oszacowania wymienionych stałych czasowych.



Rys. 24. Wyniki symulacji komputerowej dotyczące zmian zawartości wody w skoszonej trawie w funkcji czasu i opadu deszczu ($I = 1 \text{ h}^{-1}$, początkowa wilgotność zielonki 66%, gęstość powierzchniowa pokosu $1 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$) (Pitt i McGechan 1993): M_a – woda zaabsorbowana przez tkanke, M_r – woda luźno związana z powierzchnią roślin, M_s – woda ściśle przylegająca do powierzchni roślin

Fig. 24. Results of computer simulations relative to changes in moisture content in mown grass versus time and rainfall ($I = 1 \text{ h}^{-1}$, initial moisture content 66%, swath areal density 1 kg d.m. m^{-2}) (Pitt and McGechan 1993): M_a – absorbed moisture, M_r – loosely held surface moisture, M_s – adhered surface moisture

Laboratoryjny eksperyment nad oszacowaniem T_a i T_3 został przeprowadzony w tunelu aerodynamicznym jak w badaniach dotyczących suszenia zielonek w cienkich warstwach (stała temperatura 25°C i względna wilgotność powietrza 50%). Badania nad zmianami absorpcji (dM_a/dt) przeprowadzono w 1987 roku. Dwanaście próbek zielonki z życicy trwałej suszono w cienkich warstwach, które poddawano okresowym zamoczeniom. Dwanaście podobnych próbek paszy suszono bez przeszkód na testerze cienkowarstwowym. Proces zmożenia polegał na pobraniu próbki z testera i ręcznym spryskiwaniu (mały ręczny spryskiwacz ogrodowy), aż do momentu przeciekania wody przez denko tacki. Następnie tacki z próbkami przechowywano w worku polietylenowym przez okres 1 lub 4 godzin, w celu absorpcji różnej ilości wody powierzchniowej przez materiał. Do każdej próbki dodano około 100 g wody (waga suchej masy próbki wynosiła od 80 do

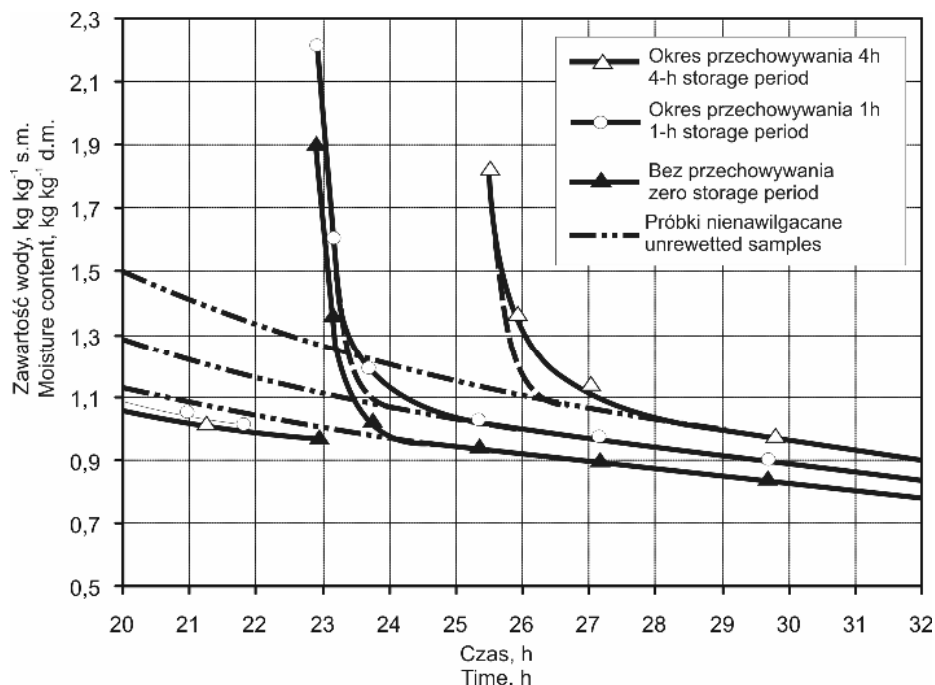
100 g). Po okresie przechowywania, tacki z próbkami wracały na tester. Tace ważono bezpośrednio przed i po zmoczeniu, a także po wyjęciu z worka. Plan eksperymentu opartego na 12 próbkach składał się z trzech okresów przechowywania próbek w worku polietylenowym (0 h, 1 h, 4 h) i dwóch rodzajów obróbki mechanicznej zielonki (ściananie ręczne, koszenie kosiarką kondycjonującą wyposażoną w wirnik ze stalowymi elementami). Pierwszą serię badań przeprowadzono na materiale koszonym 17 czerwca, który poddano zmoczeniu po 1 h, 20 h i 44 h od momentu ścięcia. Wynika z nich, że w procesie suszenia materiału poddanego zmoczeniu można wyróżnić trzy fazy (rys. 25):

- wstępny okres szybkiego suszenia, gdy paruje woda powierzchniowa,
- okres pośredni, który odnosi się do parowania zaabsorbowanej wody (przebieg wykresu z bardziej stromym nachyleniem dla próbek wtórnie nawilżanych w porównaniu z materiałem nie poddawanym namoczeniu przy zbliżonej zawartości wody),
- okres trzeci – odnoszący się do parowania wody zawartej w tkankach materiału roślinnego (przebieg funkcji podobny do modelu suszenia próbek nie poddanych namoczeniu).

Ustalenie punktu krytycznego reprezentującego zmianę fazy suszenia (z parowania wody powierzchniowej na parowanie wody zaabsorbowanej lub zawartej w tkankach roślinnych) było trudne ze względu na brak wyraźnej granicy. W takiej sytuacji ustalenie ilości wchłoniętej wody okazało się mało dokładne. Dokonano więc nałożenia krzywych suszenia próbek przechowywanych w worku polietylenowym przez 0 h, 1 h i 4 h. Maksymalna odległość pomiędzy tymi krzywymi (wzdłuż osi pionowej) miała być wartością $M_{a,max}$. Próbki zielonki z zerowym okresem przechowywania miały wodę powierzchniową znajdującą się na nich przez około 0,5 h (po umieszczeniu na testerze). Ilość wchłoniętej wody w tym czasie ustalono na poziomie $0,05 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$. Te dwie wielkości ($0,5 \text{ h}$ i $0,05 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$) dodano do wyników odnoszących się do próbek, które przechowywano przez 1 h i 4 h w worku polietylenowym. W celu oszacowania stałej czasowej T_a dopasowano krzywą wyrażoną równaniem wykładniczym (30) do danych eksperymentalnych, przy czym jako $M_{a,max}$ przyjęto $5 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ i $1 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$

$$M_a = M_{a,max} \cdot e^{-t/T_a} \quad (31)$$

Dla wartości $M_{a,max} = 5 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ otrzymano zbyt duże wartości T_a (od 3,5 h do 170,8 h). Natomiast dla wartości $M_{a,max} = 1 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ otrzymano średnią $T_a = 12,4 \text{ h}$, dla próbek poddanych uprzednio obróbce mechanicznej (kondycjonowaniu) i 17,4 h dla materiału ścinanego ręcznie.

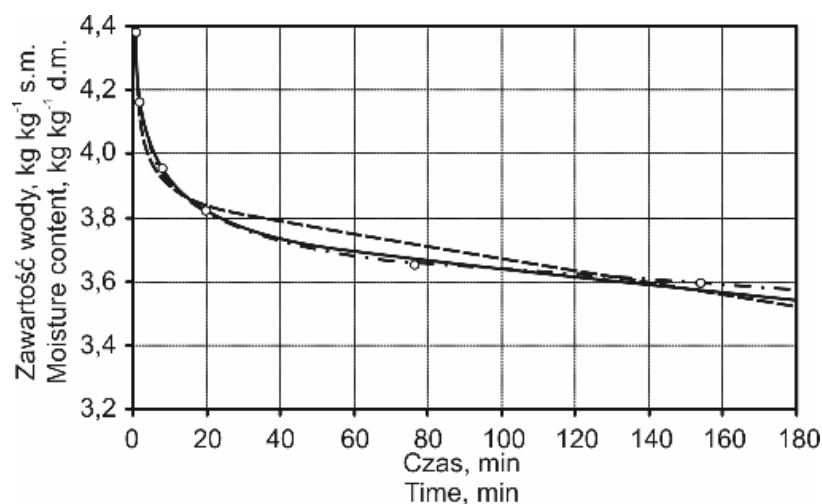


Rys. 25. Zmiany zawartości wody w zielonce z życicy trwałej poddanej kondycjonowaniu i nawilgacaniu (nawilgacanie po 20 h od czasu skoszenia) (McGechan i Pitt 1990)

Fig. 25. Changes in moisture content in green fodder of perennial ryegrass which was conditioned and rewetted (rewetting 20 h after the cutting) (McGechan and Pitt 1990)

Badania zmierzające od określenia T_3 prowadzono równoległe z eksperymentem dotyczącym polowego suszenia życicy trwałej (plon suchej masy $9,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Rośliny ścinano kosiarką kondycjonującą (wirnik ze stalowymi elementami, szerokość robocza 1,9 m), które ułożono w dwa wały szerokości $\geq 0,8 \text{ m}$. Jeden z wałów został bezpośrednio po uformowaniu rozrzucony na szerokości równej w przybliżeniu szerokości roboczej kosiarki. Z każdego pokosu pobrano po trzy próby, które umieszczono w koszykach (lekka ramka aluminiowa długości 1,5 m i szerokości 1 m, a od dołu delikatna siatka plastikowa). Po jednej z tak przygotowanych prób, poddawano na przemian zmoczeniu i osuszeniu (trzykrotnie – w dzień koszenia i w dwa kolejne dni). Próbkę z koszem ważono przed zmoczeniem. Po wylaniu na materiał około 60 litrów wody, kosz umieszczano na wadze i rejestrowano zmiany masy. Ostatni pomiar dokonano po 2,5-3 h po zmoczeniu, a następnie próba powróciła we właściwe miejsce w pokosie. W końcowym etapie eksperymentu zważono wszystkie sześć koszy i pobrano niewielkie próbki w celu określenia zawartości wody. Wilgotność paszy określano również na początku eksperymentu

(bezpośrednio po skoszeniu), a próbki pobierano z pokosu (poza koszem). Na rysunku 26 przedstawiono dane eksperymentalne dotyczące zawartości wody w paszy w funkcji czasu (namoczenie pierwszy dzień po skoszeniu).



Rys. 26. Zmiana zawartości wody w zielonce (nawilgacanie jeden dzień po ścięciu) (McGechan i Pitt 1990): — — — — wg równania (32), - · - · - · - wg równania (33), ————— wg równania (34)

Fig. 26. Changes in moisture content in green fodder versus time (rewetting 1 day after the cutting) (McGechan and Pitt 1990): — — — — according to eqn (32), - · - · - · - according to eqn (33), ————— according to eqn (34)

Do danych eksperymentalnych próbowano dopasować krzywe teoretyczne w oparciu o równania:

$$M = M_0 + P_1 e^{-P_2 t} + P_3 e^{-0,01P_4 t} \quad (32)$$

$$M = M_0 + P_1 e^{-P_2 t} + P_3 e^{-P_4 t} + P_5 e^{-0,01P_6 t} \quad (33)$$

$$M = M_0 + P_1 e^{-P_2 t} + P_3 e^{-0,1P_2 t} + P_5 e^{-0,001P_2 t} \quad (34)$$

Dopasowane parametry P_1 i P_3 w równaniu (32) przedstawiają $M_{r,max}$ i $M_{s,max}$. Natomiast P_2^{-1} jest szukaną stałą czasową T_3 , a P_4^{-1} jest stałą czasową parowania wody powierzchniowej (tab. 18). Średnia wartość $P_3 = 1,58 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ jest zbliżona do wartości $1,5 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ (Pitt i McGechan 1993). Średnia wartość $P_1 = 0,58 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ jest mniejsza do wartości $M_{r,max} = 0,9 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ (Pizarro

i James 1972). Mogło to być spowodowane ubytkiem wody w czasie przenoszenia namoczonych próbek na wagę. Średnia wartość $P_2^{-1} = 3,44$ min jest znacznie mniejsza w zestawieniu z określoną przez van Elderena i in. (1972). Ponieważ krzywa otrzymana z równania 32 nie jest dobrym dopasowaniem do danych eksperymentalnych i dodatkowo z powodu małej wartości P_2^{-1} to zaproponowano inne równania wykładnicze (33 i 34) z nowym członem i z dwoma nowymi stałymi. Równanie (34) zostało opracowane na podstawie średniej wartości współczynników z równania (33). Równania (33 i 34) są lepiej dopasowane do danych eksperymentalnych (rys. 26) niż równanie (32).

Tabela 18. Parametry równania wykładniczego (32) obliczone na podstawie wyników badań doświadczalnych (McGechan i Pitt 1990)

Table 18. Parameters of exponential equation (32) based on experimental data (McGechan and Pitt 1990)

Tabela 18. Parametry równania wykładniczego (32) obliczone na podstawie wyników badań doświadczalnych [152]

Table 18. Parameters of exponential equation (32) based on experimental data [152]

Liczba dni po ścięciu Days after cutting	Sposób ułożenia paszy Swath type	P_1	P_2	P_3	P_4	Wilgotność początkowa M_0 , kg·kg ⁻¹ s.m. Moisture content M_0 , kg kg ⁻¹ d.m.
0	Pokos – Spread	0,530	0,316	1,74	0,432	4,31
0	Wał – Windrow	0,682	0,304	1,44	0,157	3,97
1	Pokos – Spread	0,650	0,223	1,61	0,184	3,32
1	Wał – Windrow	0,494	0,281	1,46	0,146	2,41
2	Pokos – Spread	0,562	0,316	1,66	0,226	2,11
2	Wał – Windrow	0,533	0,304	1,58	0,170	2,54
Średnia Mean		0,572	0,291	1,58	0,219	3,11

McGechan i Pitt (1990) doszli do wniosku, że w procesie wyparowywania wody powierzchniowej z roślin namoczonych deszczem można wyróżnić dwie fazy: „szybką” i „wolną” utraty wilgoci. Stała czasowa dla fazy „wolnej” odparowywania wynosi 11,1 min. i jest znacznie mniejsza od określonej przez van Elderena i innych (1972). McGechan i Graham (1993) przeprowadzili do-

świadczanie laboratoryjne, a ich wyniki posłużyły do określenia stałych czasowych T_a i T_3 . Wyniosły one odpowiednio 15 h i 0,8 h, bez dowodów na poparcie teorii o „szybszym” wchłanianiu wody przez paszę poddaną obróbce mechanicznej w zestawieniu z paszą niekondycjonowaną.

Tabela 19. Parametry równania wykładniczego (33) i (34) obliczone na podstawie wyników badań doświadczalnych (McGechan i Pitt 1990)

Table 19. Parameters of exponential equation (32) and (34) based on experimental data (McGechan and Pitt 1990)

Liczba dni po ścięciu Days after cutting	Sposób ułożenia paszy Swath type	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	Wilgotność początkowa (M_0 , $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) Moisture content (M_0 , $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.)
0	Pokos Spread	0,223	2,07	0,405	0,157	1,68	0,380	4,31
0	Wał Windrow	0,450	1,01	0,435	0,072	1,32	0,088	3,97
1	Pokos Spread	0,362	0,62	0,497	0,062	1,45	0,100	3,32
1	Wał Windrow	0,308	0,71	0,350	0,067	1,33	0,072	2,41
2	Pokos Spread	0,229	1,60	0,466	0,151	1,58	0,166	2,11
2	Wał Windrow	0,300	1,47	0,418	0,111	1,49	0,112	2,54
Średnia Mean		0,312	1,25	0,428	0,103	1,48	0,153	3,11

4.2. Czynniki wpływające na straty wymywania

W większości opublikowanych prac dotyczących strat paszy podczas polowego suszenia zielonek na siano zajmowano się głównie ubytkami suchej masy, a nie oceną ich wartości pokarmowej (Bockstaele i in. 1979, Gach 2003, 2005, Honig 1979, McGechan 1989, Parke i in. 1978, Pitt 1982). Materiał utracony stanowi często najcenniejszą część rośliny pod względem składu chemicznego i strawności. Wyniki doświadczeń prowadzonych przez Salo i Virtanena (1983), dowodzą wpływu warunków suszenia na skład chemiczny paszy i jej strawność (tab. 20). Materiałem badanym było siano pochodzące z traw, które koszone kosiarko-zgniataczem z bijakowym zespołem tnącym. Pasza tak przygotowana była następnie dwukrotnie w ciągu dnia przetrząsana (przetrząsacz-zgrabiarka karu-

zelowa lub przetrząsaczo-zgrabiarka bębnowa). Zabiegi te stosowano tylko w dni bezdeszczowe. Wyniki doświadczeń podzielono na trzy grupy w zależności od warunków atmosferycznych panujących podczas suszenia (A – bardzo dobre warunki suszenia, B – ciągłe opady deszczu, C – opady deszczu w końcowym etapie suszenia zielonki). W paszy suszonej w bardzo korzystnych warunkach (temperatura powietrza 16-27°C, wilgotność względna powietrza 55-33%, prędkość wiatru 2-5m·s⁻¹) nie wystąpiły duże zmiany składu chemicznego, gdyż wynikały one jedynie z kontynuowania procesów życiowych komórek i strat mechanicznych. Zmniejszyła się głównie zawartość białka surowego (o 12%) i wzrosła zawartości lignin (o 14%). Natomiast udział węglowodanów rozpuszczalnych nie uległ zmianie. Skoszona zielonka, która przebywała na polu przez 8 dni (grupa B – temperatura powietrza 9-17°C, wilgotność względna powietrza 65-100%), charakteryzowała się nadal wysoką wilgotnością i zarejestrowano znaczne wymycie składników pokarmowych przez deszcz. Świadczy o tym spadek zawartości węglowodanów rozpuszczalnych o 13% i związków potasu o 15% w stosunku do początkowego udziału tych składników w suchej masie zielonki. Oceniając całkowite straty suchej masy i węglowodanów rozpuszczalnych należy stwierdzić, że w tej grupie doświadczenia były stosunkowo duże. Wynosiły one odpowiednio 18% i 28%.

Częściowe wysuszenie paszy przed opadami deszczu (grupa C), spowodowało olbrzymie straty suchej masy wynoszące 29%. Nastąpiło znaczne zmniejszenie się zawartości węglowodanów rozpuszczalnych (o 64% w stosunku do udziału tych związków w suchej masie zielonki). Prawie w całości zostały wyługowane związki potasu. Salo i Virtanen (1983) stwierdzają również, że niewielka ilość opadów atmosferycznych w początkowym okresie suszenia zielonki nie wpływa w sposób zbyt wyraźny na zmianę udziału poszczególnych składników pokarmowych w suchej masie. Największemu obniżeniu uległa zawartość węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie, a związki potasu zostały wymyte w 8%.

Mając jednak na uwadze całkowite straty poszczególnych składników pokarmowych oraz obniżenie się ich strawności, należy stwierdzić, że opady deszczu są czynnikiem, który decyduje o ilości i jakości uzyskanego produktu końcowego, jakim jest siano. Jest to widoczne, jeśli porównuje się całkowite straty związane z suszeniem zielonki stanowiącej przedmiot badań grupy B z wynikami uzyskanymi w najkorzystniejszych warunkach.

Badania prowadzone przez Collinsa (1983) dotyczyły oceny wpływu terminu koszenia i ilości opadów atmosferycznych na straty suchej masy, zmiany składu chemicznego siana z lucerny i koniczyny czerwonej. Z informacji zawartych w tabeli 21 wynika, że opady deszczu miały duży wpływ na ubytki suchej masy, zawartość poszczególnych składników i strawność paszy. Suma strat oddychania i wymywanie przez deszcz była mniejsza w materiale suszonym w korzystnych warunkach. Największe wartości strat zanotowano w tej partii materiału, który był narażony na deszcz w końcowej fazie suszenia. Wyniosły one prawie 40%

Tabela 20. Zależność zmian składu chemicznego i strawności siana od warunków polowego suszenia zielonki (Salo i Virtanen 1983)

Table 20. Chemical composition and digestibility of hay versus field drying conditions of green fodder (Salo and Virtanen 1983)

Dzień suszenia Drying day	Opad deszczu Rainfall (mm)	Wilgotność Moisture (%)	Strawność <i>in vitro</i> <i>In vitro</i> digestibility (%)	Skład chemiczny – Chemical composition						
				% s.m. % d.m.				g·kg ⁻¹ s.m. g·kg ⁻¹ d.m.		
				Białko Protein	Włókno Fibre	Popiół Ash	Cukry Sugars	Ca	Mg	K
A. Bardzo korzystne warunki suszenia (temperatura powietrza 16-27°C, wilgotność powietrza 35-55%, prędkość wiatru 2-5 m·s ⁻¹)										
Very favourable conditions of field drying (air temperature 16-27°C, air humidity 35-55%, wind speed 2-5 m s ⁻¹)										
1	0,0	77-47	67,9	12,9	32,5	7,8	10,8	3,4	1,1	33,1
2	0,0	42-27	67,1	12,5	34,9	7,6	10,5	3,2	1,1	32,3
3	0,0	26-21	65,7	11,4	33,5	7,3	10,8	2,7	1,0	33,1
B. Bardzo niekorzystne warunki pogodowe (temperatura powietrza 9-17°C, wilgotność powietrza 65-100%)										
Very unfavourable weather conditions (air temperature 9-17°C, air humidity 65-100%)										
1	5,6	80	65,3	14,0	29,2	6,7	11,9	4,0	2,1	25,1
2	2,2	84-82	64,6	14,2	29,8	6,2	12,1	–	–	–
3	20,5	82-80	63,1	14,6	30,1	6,6	11,1	–	–	–
4-5	9,7	81-77	60,7	14,1	30,1	6,1	12,1	–	–	–
6-7	6,6	81-63	60,4	14,6	29,8	6,3	11,7	–	–	–
8-9	21,1	75-37	58,2	14,4	31,1	6,1	10,4	4,1	2,1	21,9
C. Opady deszczu na znacznie podsuszony materiał (zawartość suchej masy 27-59%)										
Rainfalls on highly wilted material (dry matter content of 27-59%)										
1	0,0	73-41	66,8	10,7	31,4	8,3	11,0	4,1	1,4	36,3
2	0,0	46-22	65,2	10,3	35,2	8,2	10,6	–	–	–
5-6	6,9	78-53	61,2	9,8	36,8	7,2	9,5	–	–	–
7-8	7,8	80-67	58,2	10,0	39,1	5,8	6,0	–	–	–
9-10	23,9	72-44	56,0	9,6	41,9	4,1	4,0	3,2	1,0	7,6

A: tymotka łąkowa 98%, kostrzewa łąkowa 2% – timothy 98%, meadow fescue 2%,

B: kupkówka pospolita 28%, wiechlina łąkowa 37%, tymotka łąkowa 8%, mniszek lekarski 20%, perz 7% – cocksfoot 28%, meadow grass 37%, timothy 8%, dandelion 20%, wheat-grass 7%,

C: kostrzewa łąkowa 68%, tymotka łąkowa 32% – meadow fescue 68%, timothy 32%.

początkowej wartości suchej masy skoszonej zielonki. Warto również podkreślić, że niekorzystne warunki atmosferyczne przyczyniają się pośrednio do zwiększenia strat mechanicznych. W paszy suszonej podczas pogody bezdeszczowej straty liści nie przekroczyły 7%. Natomiast w warunkach najmniej korzystnych wynosiły nawet 23% początkowej wartości suchej masy skoszonego materiału. Niewielkie ilości opadów deszczu w początkowym okresie suszenia nie powodują większych zmian w zawartości białka ogólnego (doświadczenie 1980). Wyniki badań uzyskane w 1981 roku informują o zmniejszeniu się procentowej zawartości białka w sianie z lucerny i zwiększeniu się tego składnika w suchej masie siana z koniczyny czerwonej. Względny wzrost zawartości białka ogólnego w materiale poddawany opadom deszczu jest wynikiem znacznych strat innych składników, a zwłaszcza tych łatwo rozpuszczalnych w wodzie. Podobny kierunek zmian dotyczy zawartości włókna i lignin. Wpływa to bardzo niekorzystnie na wartość pokarmową wysuszonej zielonki.

W tabeli 22 zamieszczono wyniki badań prowadzonych przez Fannesbecka i innych (1986), które dotyczyły oceny wpływu sztucznego deszczu na zmiany składu chemicznego suszonej lucerny (doświadczenie trójczynnikiowe typu 2 x 3 x 2 – dwa terminy koszenia x trzy poziomy deszczowania x dwa terminy opadu deszczu).

Pasza uzyskana w najbardziej niekorzystnych warunkach doświadczenia posiadała strawność *in vitro* 36-49,3% i zawierała nieznaczne ilości węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie (0,98-1,96%).

Z przeprowadzonej analizy statystycznej (analiza wariancji – porównanie średnich między sobą przy użyciu przedziałów ufności T – Tukeya) wynika, że na zmiany składu chemicznego badanej paszy większy wpływ mają opady deszczu niż termin koszenia. Zawartość substancji stanowiących ściany komórkowe oraz stanowiących wewnątrz komórek okazały się wysoce zróżnicowane przy różnych dawkach sztucznego deszczu. Największym zmianom ulegały zawartości węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie oraz celulozy.

Względny wzrost udziału substancji tworzących ściany komórkowe jest wynikiem zmniejszania się zawartości składników rozpuszczalnych, które są wymywane przez deszcz. Udział węglowodanów rozpuszczalnych, w suchej masie paszy stanowiącej grupę kontrolną (bez opadów) wynosił 27,3%, a w materiale poddawanym 20 mm deszczu zmniejszył się do 24,3%. Zawartość celulozy zwiększyła się z 24,8 do 28%. Dawka sztucznego deszczu wpływa istotnie na zawartość tłuszczu ogólnego (w warunkach prowadzonego doświadczenia określano tym mianem następujące substancje: tłuszcze i kwasy tłuszczowe, chlorofil, karotenoidy, kutynę, antocyjany). Warto również zwrócić uwagę, że w lucernie o różnym początkowym stopniu wysuszenia (tzn. po 24 h i 48 h po skoszeniu) a poddawanej tej samej dawce deszczu nie zaobserwowano istotnych różnic w składzie chemicznym.

Tabela 22. Plon i skład chemiczny siana z lucerny w zależności od terminu koszenia, ilości sztucznego deszczu i terminu jego padania (Fonnesbeck i in. 1986)

Table 22. Yield and chemical composition of alfalfa hay versus cutting time, artificial rainfall amount and time of occurrence (Fonnesbeck *et al.* 1986)

Wyszczególnienie Item	Plon, (kg s.m.·ha ⁻¹) Yield (kg d.m.·ha ⁻¹)	Substancje ścian komórkowych (% s.m.) Cell wall constituents (% d.m.)				Substancje stanowiące zawartość komórek (% s.m.) Cell contents (% d.m.)			
		Ogółem Total	Celuloza Cellulose	Hemiceluloza Hemicellulose	Lignina Lignin	Ogółem Total	Białko ogólne Crude protein	Cukry Sugars	Tłuszcz ogólny Total fat
Faza rozwoju wegetacyjnego: Growth stage									
przed kwitnieniem before flowering	2939	40,6	25,9	7,2	7,4	59,3	18,4	26,1	9,5
początek kwitnienia early flowering	3269	42,2	26,7	7,7	7,7	57,8	17,5	26,0	8,7
Poziom deszczu Rainfall amount									
0 mm	3131	39,4	24,8	7,5	7,0	60,6	18,0	27,3	9,5
5 mm	3052	41,3	26,1	7,3	7,6	58,7	18,0	26,3	9,1
20 mm	3128	43,6	28,0	8,0	8,0	56,4	17,9	24,3	9,0
Termin deszczu Time of rainfall									
24 h po skoszeniu 24 h after cutting	3160	41,1	26,3	7,4	7,4	58,9	17,9	26,2	9,1
48 h po skoszeniu 48 h after cutting	3048	41,7	26,4	7,7	7,6	58,3	18,0	25,9	8,9

W tabeli 23 zestawiono wyniki badań dotyczących strat poszczególnych składników pokarmowych (stanowiących zawartość komórek materiału roślinnego) oraz ubytki suchej masy (Fonnesbeck i in. 1986). Wynika z nich, że straty suchej masy są znacznie niższe niż straty poszczególnych składników, które decydują o wartości pokarmowej paszy. Największemu wymywaniu przez sztuczny deszcz 20 mm uległy rozpuszczalne węglowodany i tłuszcz ogólny (odpowiednio o 18,8% i 19,8%). Należy również zwrócić uwagę na fakt, że nie zaobserwowano istotnych różnic w zawartości białka (tab. 22).

Tabela 23. Względne straty suchej masy i poszczególnych składników pokarmowych w produkcji siana z lucerny w zależności od poziomu deszczu (Fonnesbeck i in. 1986)

Table 23. Relative dry matter and nutrient losses during production of alfalfa hay versus rainfall amount (Fonnesbeck *et al.* 1986)

Wyszczególnienie – Item	Poziom opadu ⁽¹⁾		
	Amount of rainfall ⁽¹⁾ (mm)		
	0	5	22
Plon suchej masy – Dry matter yield	100	95,4	90,3
Straty suchej masy – Dry matter losses	0	4,6	9,7
Substancje stanowiące zawartość komórek – Cell contents	0	7,6	16,0
• Białko ogólne – Crude protein	0	4,3	10,2
• Cukry – Sugars	0	7,9	18,8
• Tłuszcz ogólny – Total fat	0	12,3	19,8
• Popiół – Ash	0	8,8	14,0

⁽¹⁾ Natężenie sztucznego deszczu 5 mm·h⁻¹, straty wymywania stanowią średnie pochodzące z wyników uzyskanych dla dwóch terminów „padania” sztucznego deszczu (24 h po skoszeniu i 48 h po skoszeniu) – Artificial rainfall intensity of 5 mm h⁻¹, leaching losses are average from results obtained at two times of artificial rainfall (24 h after cutting and 48 h after cutting).

Jeśli natomiast uwzględnić informacje z tabeli 23, to wyraźnie z nich wynika, że straty białka ogólnego były znaczne i wynosiły nawet 10,2%. Taka sytuacja jest wynikiem stosunkowo proporcjonalnego wymywania białka ogólnego i innych składników stanowiących zawartość komórek roślinnych badanej paszy (udział białka w suchej masie pozostaje prawie niezmienny, a ogólna jego ilość uległa zmniejszeniu).

W większości opublikowanych prac dotyczących strat w produkcji siana powodowanych ługującym działaniem deszczu zajmowano się głównie analizą wpływu wilgotności materiału i dawki opadów na obniżenie wartości pokarmowej suszo-

nej paszy i ubytki suchej masy. Nieliczne opracowania uwzględniają zmiany strat wymywania w zależności od rodzaju stosowanych zabiegów mechanicznych mających na celu przyspieszenie procesu suszenia, zwłaszcza tych, które określa się mianem wstępnej obróbki mechanicznej. Na uwagę zasługują wyniki badań Bockstaele i in.(1979), Murdoch i Bare'a (1960), Rotza, Davis'a i Abramsa (Rotz i in. 1987, Rotz i in. 1991) oraz Sundberga i Thyléna (1994).

Tabela 24. Straty składników pokarmowych oraz strawność siana łąkowego w zależności od stosowanych zabiegów mechanicznych i wielkości sztucznego deszczu (Murdoch i Bare 1960)

Table 24. Nutrient losses and digestibility of meadow hay in relation to applied mechanical treatments and amount of artificial rainfall (Murdoch and Bare 1960)

Wyszczególnienie – Item	Strawność <i>in vivo</i> ⁽¹⁾ <i>In vivo</i> digestibility ⁽¹⁾ (%)				Straty składników pokarmowych Nutrient losses (%)			
	Doświadczenie – Experiment							
	A	B	C	D	A	B	C	D
Sucha masa – Dry matter	72,1	72,1	70,6	68,9	7,7	5,6	13,2	14,2
Białko ogólne – Crude protein	60,4	58,3	55,1	54,7	6,7	10,2	16,7	7,9
Tłuszcz – Fat	43,2	52,6	41,7	39,2	31,0	8,9	36,2	28,6
Substancje bezazotowe wyciągowe N-free extractives	73,2	74,9	72,7	69,3	5,2	7,8	12,1	17,6
Włókno surowe – Crude fibre	79,0	79,5	77,9	78,9	6,0	0,7	8,5	6,9
Popiół – Ash	–	–	–	–	20,9	18,7	24,0	23,7

⁽¹⁾ badania strawnościowe prowadzono na skopach,

A – zielonka nie poddawana zabiegom mechanicznym i opadom sztucznego deszczu,

B – zielonka nie poddawana zabiegom mechanicznym, sztuczny deszcz: przez 1 h pod koniec pierwszego dnia suszenia (11 mm), przez 1 h na początku drugiego dnia suszenia (11 mm),

C – zielonka poddawana intensywnej obróbce mechanicznej (zgniatanie parą profilowanych walców stalowych), brak opadów deszczu,

D – zielonka poddawana intensywnej obróbce mechanicznej (zgniatanie parą profilowanych walców stalowych), sztuczny deszcz: przez 1 h pod koniec pierwszego dnia suszenia (11 mm), przez 1 h na początku drugiego dnia suszenia (11 mm).

⁽¹⁾ digestibility studies carried out with wethers,

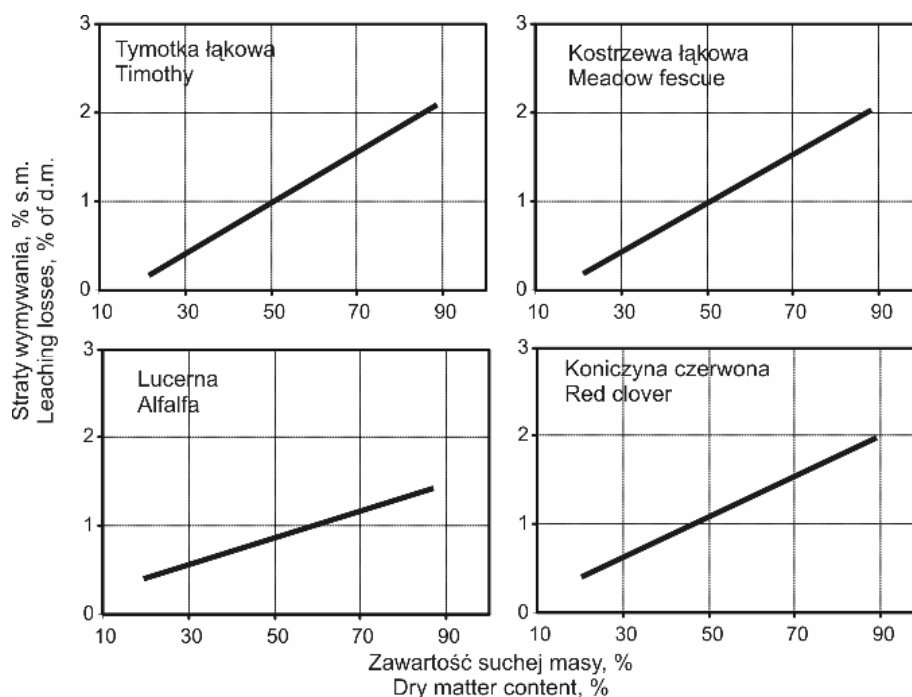
A – green fodder without mechanical treatment and artificial rainfall,

B – green fodder without mechanical treatment, artificial rainfall: duration of 1h at the end of the first drying day (11 mm), duration of 1h at the start of second drying day (11 mm),

C – intensively treated green fodder (crushed with a pair of corrugated steel rolls), without rainfall,

D – intensively treated green fodder (crushed with a pair of corrugated steel rolls), artificial rainfall: duration of 1h at the end of first drying day (11 mm), duration of the 1h at the start of second drying day (11 mm).

Z informacji zamieszczonych w tabeli 24 wynika, że strawność poszczególnych składników paszy nie poddawanej wstępnej obróbce mechanicznej jest wyższa niż tej, którą zgniatano parą stalowych walców w czasie koszenia i następnie poddano opadom sztucznego deszczu. Wykazano również, że opady deszczu w początkowym okresie suszenia nie wpływają w sposób istotny na straty składników pokarmowych materiału nie poddawanego zabiegom mechanicznym. Natomiast intensywna obróbka mechaniczna (ang. crimping) przyczynia się do znacznego wymywania cennych składników pokarmowych. W wielu krajach europejskich, w których występują bardzo niekorzystne warunki atmosferyczne do polowego suszenia zielonek na siano rezygnuje się z tego typu pasz na rzecz kiszzonek i sianokiszzonek. Najlepszym tego przykładem jest Holandia, w której około 90% pasz zielonych przeznaczają się na produkcję kiszzonek.



Rys. 27. Straty wymywania w zależności od zawartości suchej masy w chwili rozpoczęcia opadu deszczu (18 mm opadu, 27 mm·h⁻¹ natężenie deszczu) dla zielonek poddanych kondycjonowaniu (Sundberg i Thylén 1994)

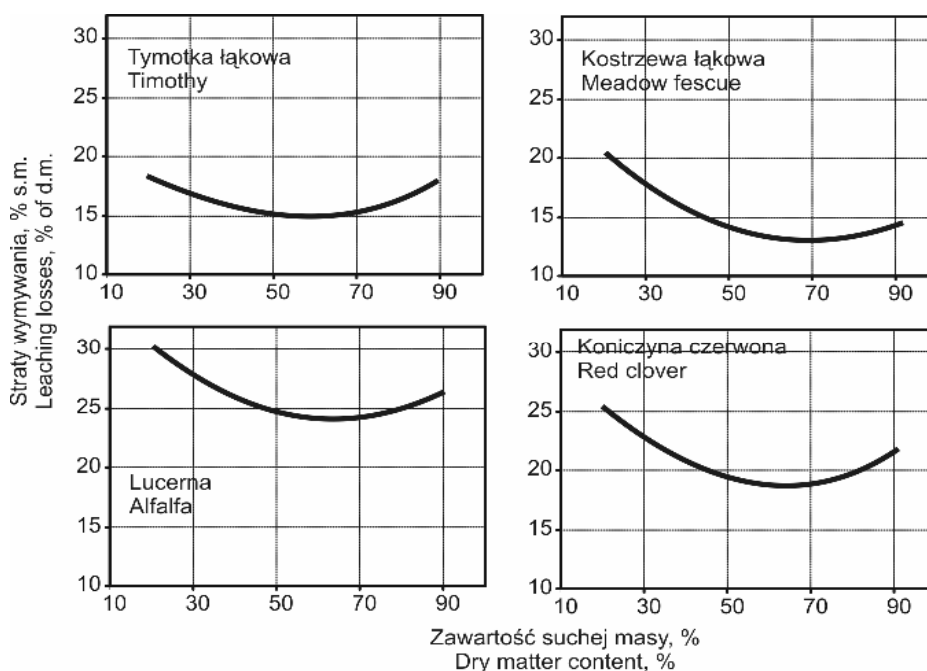
Fig. 27. Leaching losses for conditioned green fodder in relation to dry matter content at the time of rainfall (18 mm of rain, 27 mm·h⁻¹ of rain intensity) (Sundberg and Thylén 1994)

Doświadczenie Sundberga i Thyléna (1994) polegało na pomiarze strat wymywania składników pokarmowych z paszy, którą poddawano opadom sztucznego

deszczu. Materiałem doświadczalnym była tymotka łąkowa, kostrzewa łąkowa, lucerna i koniczyna czerwona. Zielonkę poddano dwu różnym zabiegom mechanicznym. Pierwszym z nich to kondycjonowanie z zastosowaniem walców zgniatających. Drugi sposób to intensywna maceracja i formowanie maty (średnia grubość od 5,6 mm do 9,5 mm; średnia gęstość od 76 kg s.m.·m⁻³ do 118 kg s.m.·m⁻³). Z zależności przedstawionych na rysunku 27 i 28 wynika, że początkowa zawartość suchej masy w paszy w chwili opadu deszczu miała duży wpływ na straty wymywania składników pokarmowych.

Straty paszy poddanej kondycjonowaniu nie przekraczały 2,5%, jeśli nawet materiał w chwili deszczu był bardzo wysuszony. Straty wymywania paszy zawierającej mniej niż 30% suchej masy były niskie (do 0,5%). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że wśród wszystkich pasz kondycjonowanych straty lucerny były najniższe.

Zupełnie inny przebieg strat zarejestrowano dla pasz poddanych maceracji i matowaniu (rys. 28).

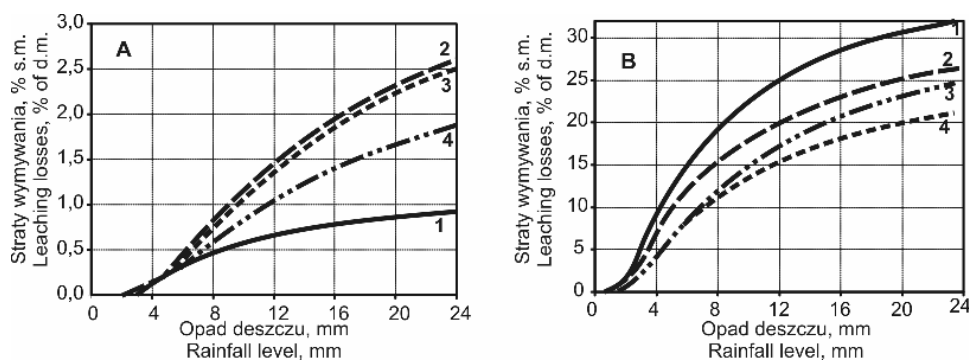


Rys. 28. Straty wymywania w zależności od zawartości suchej masy w chwili rozpoczęcia opadu deszczu (18 mm opadu, 27 mm·h⁻¹ natężenie deszczu) dla zielonek poddanych intensywnej obróbce (maceracja i matowanie) (Sundberg i Thylén 1994)

Fig. 28. Leaching losses for macerated green fodder mats in relation to dry matter content at the time of rainfall (18 mm of rain, 27 mm h⁻¹ of rain intensity) (Sundberg and Thylén 1994)

Straty wymywania składników pokarmowych z lucerny, którą uformowano w cienkie maty były bardzo wysokie dla całego zakresu zawartości suchej masy (ponad 25%). Sundberg i Thylén (1994) stwierdzają, że przyczyną dużych strat wymywania lucerny i koniczyny czerwonej poddanej intensywnej obróbce mechanicznej jest mniejsza zawartość włókna neutralnego detergentowego w porównaniu do paszy z traw łąkowych. Najwyższe wartości strat (prawie 30%) wystąpiły w materiale bardzo wilgotnym i bardzo suchym. Rysunek 28 podaje informacje o zakresie zawartości suchej masy odpowiadający najniższym stratom wymywania (około 60% zawartości suchej masy dla tymotki łąkowej, lucerny i koniczyny czerwonej).

Z zależności przedstawionych na rysunku 29 wynika, że straty wymywania zależą również od ilości opadu deszczu. Jest to szczególnie widoczne na przykładzie paszy o wysokiej zawartości suchej masy (61 do 92%) uprzednio poddanej intensywnej obróbce mechanicznej (maceracja i formowanie maty). Opady deszczu na poziomie 24 mm powodowały straty lucerny w wysokości prawie 30%. Jest to wartość ponad trzydziestokrotnie wyższa w zestawieniu ze stratami lucerny kondycjonowanej, którą poddano takim samym opadom deszczu. Tak znaczne rozpiętości ocenianych strat wynikały z dwu powodów. Pierwszy odnosi się do stosowanej obróbki mechanicznej, a drugi wynika ze znacznej różnicy w zawartości suchej masy (od 59 do 74% dla lucerny kondycjonowanej i od 61 do 92% dla paszy poddanej maceracji i matowaniu).



Rys. 29. Straty wymywania w zależności od poziomu opadu deszczu, stosowanej obróbki mechanicznej i rodzaju paszy (Sundberg i Thylén 1994): A – zielonka kondycjonowana (59-74% s.m.), B – zielonka poddana maceracji i matowaniu (61-92% s.m.), 1 – lucerna, 2 – koniczyna czerwona, 3 – tymotka łąkowa, 4 – kostrzewa łąkowa)

Fig. 29. Leaching losses in relation to rainfall amount, mechanical treatment applied, and the kind of forage (Sundberg and Thylén 1994): A – for conditioned forage (59-74% d.m.), B – for macerated forage mats (61-92% d.m.), 1 – alfalfa, 2 – red clover, 3 – timothy, 4 – meadow fescue

Rotz, Davis i Abrams (1991) oceniali między innymi wpływ sposobu kondycjonowania zielonki z lucerny i poziomego opadu sztucznego deszczu na straty suchej masy i zmiany wybranych składników pokarmowych. Materiał, który w celu zwiększenia szybkości suszenia poddano następującym zabiegom: zgniataniu parą gumowych walców (zazębiających się), zgniataniu wraz ze spryskiwaniem zielonki w czasie koszenia wodnym roztworem K_2CO_3 ($470 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ dla pierwszego pokosu i $300 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ dla następnych pokosów), maceracji i formowaniu maty ($0,8 \text{ kg s.m.} \cdot \text{m}^{-2}$). Zielonka poddawana opadom sztucznego deszczu ($91,8 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$) zawierała 60% suchej masy. Z zależności przedstawionych w tabeli 25 wynika, że największe straty suchej masy zarejestrowano w materiale poddanym uprzednio intensywnej obróbce mechanicznej (maceracja + formowanie maty). Wynosiły one aż 26,8% suchej masy dla zielonki poddanej opadom deszczu w dawce 62 mm. Straty wymywania paszy pochodzącej z dwu pozostałych grup doświadczenia (wydzielonych na podstawie stosowanej obróbki mechanicznej) były znacznie niższe.

Na szczególne podkreślenie zasługują wyniki dotyczące zmian zawartości poszczególnych składników pokarmowych. Opady sztucznego deszczu na zielonkę poddaną tylko zgniataniu spowodowały niewielkie zmiany zawartości białka ogólnego i włókna kwaśnego detergentowego. Pod wpływem dużego opadu deszczu nastąpiło znaczne pogorszenie się jakości paszy poddanej uprzednio maceracji i matowaniu. Dotyczyło to szczególnie wzrostu zawartości włókna i obniżenia się strawności (*in vitro*) suchej masy. Końcowa strawność wynosiła zaledwie 51,1% i była o 12 punktów procentowych niższa w zestawieniu z materiałem przed poddaniem go opadom deszczu.

Wyniki badań Rotza, Davis'a i Abramsa (1991) różnią się znacznie od rezultatów doświadczeń Smith'a i Brown'a (1994). Znaczne różnice w poziomie strat powodowanych wymywaniem przez deszcz wynikają ze sposobu ich pomiaru. Smith i Brown (1994) określali je w oparciu o wyniki analiz chemicznych tej części deszczu, która wypłynęła z materiału. Straty te nie obejmowały więc tej części składników pokarmowych, które były tracone w wyniku oddychania i rozwoju drobnoustrojów. Opady 20 mm deszczu na zielonkę z lucerny, którą ścinano kosiarką kondycjonującą spowodowały straty w wysokości tylko 1,7% suchej masy (wilgotność paszy w chwili rozpoczęcia badań 20%, intensywność deszczu $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Zwiększenie wilgotności materiału do 70% wpłynęło na ponad czterokrotne zmniejszenie strat wymywania (do około 0,35% suchej masy).

4.3. Modele matematyczne strat powodowanych deszczem

W ostatnim piętnastolecu coraz częściej wykorzystuje się modele matematyczne do opisu procesów produkcji rolniczej (Barr i Brown 1995, Barr i in. 1995, Barrington 1970, Hamer i in. 2000, Rotz i Abrams 1988, Savoie i in. 1997). Dotyczy to również produkcji i wykorzystania pasz pochodzących z trwałych i przemennych użytków zielonych. Modele strat w produkcji siana i kiszzonek uwzględniające warunki meteorologiczne wzrostu i konserwowania roślin powalają na wybór właściwego kierunku produkcji paszy (Dale i in. 1978, Pitt 1982).

Opracowane modele matematyczne opisujące straty pasz powodowane opadami deszczu są zwykle funkcją dwóch zmiennych (Hadders 1986, Hart i Burton 1967, McGechan 1989, Parke i in. 1978). Parke, Dumont i Boyce (1978) proponują następującą zależność określającą straty wymywania:

$$S_w = \frac{ar(90 - m)}{700} \quad (35)$$

gdzie: a – współczynnik proporcjonalności.

Inną postać funkcji proponuje Hadders (1986), który do budowy modelu matematycznego posłużył się wynikami badań Møllera i Skovborga (1971):

$$S_w = \frac{r}{20} \left[1 - \frac{55}{W} + \frac{74}{W^2} \right] \quad (36)$$

$$W = \frac{m}{100 - m} + 5 \quad (37)$$

Autorzy wyżej podanych funkcji strat powodowanych opadami deszczu uwzględniają jako zmienne: wilgotność paszy i ilość opadów atmosferycznych.

Model matematyczny opracowany przez Savoie i innych (1982) na podstawie wyników badań nad wymywaniem składników pokarmowych z suszonej lucerny (Collins 1983, Fannesbeck i in. 1986) nie uwzględnia wilgotności paszy jako czynnika istotnego:

$$S_w = Q_r (1 - e^{-0,001r}) \quad (38)$$

gdzie: Q_r – zawartość rozpuszczalnych składników w paszy (% s.m.).

Z kolei zależność podana przez Cunneya i von Bargena (1982) jest następująca:

$$S_w = 0,14r \quad (39)$$

Fonnesbeck, Garcia, Kaykay i Saiady (1986) proponują dwa modele matematyczne pozwalające na ocenę strat suchej masy (S_w) i strat poszczególnych składników pokarmowych ($S_{w(i)}$) paszy, w wyniku suszenia zielonek w niesprzyjających warunkach atmosferycznych.

$$S_w = \left(1 - \frac{Q_{sk1}}{Q_{sk2}}\right) \cdot 100 \quad (40)$$

gdzie: Q_{sk1} – awartość substancji ścian komórkowych w paszy przed opadami deszczu (% s.m.),

Q_{sk2} – zawartość substancji ścian komórkowych w paszy poddanej działaniu deszczu (% s.m.).

Model matematyczny strat poszczególnych składników pokarmowych jest następujący:

$$S_{w(i)} = \left(1 - \frac{Q_{sk1} \cdot Q_{i2}}{Q_{sk2} \cdot Q_{i1}}\right) \cdot 100 \quad (41)$$

gdzie: $S_{w(i)}$ – straty wymywania i -tego składnika paszy (%),

i – indeks ten oznacza: białko ogólne, węglowodany rozpuszczalne, tłuszcz ogólny, związki mineralne rozpuszczalne,

Q_{i1} – zawartość i -tego składnika w paszy przed opadami deszczu (% s.m.),

Q_{i2} – zawartość i -tego składnika w paszy poddanej działaniu deszczu (% s.m.).

Pozostałe symbole mają znaczenie poprzednio podane.

Inną grupę matematycznych formalizacji procesu wymywania składników pokarmowych przez deszcz z paszy przeznaczanej na siano stanowią formuły otrzymane metodami statystycznymi z wyników badań. W tej grupie należy wymienić prace prowadzone przez Harta i Burtona (1967) oraz Rückera i Knabe (1977).

Hart i Burton (1967) proponują następujące zależności do oceny wielkości zbieranego plonu suchej masy, zawartości białka ogólnego w suchej masie oraz strawności siana:

$$P_s = 0,95P_z - 0,013P_z r + 0,04 \quad (42)$$

$$Q_{bos} = 0,910Q_{baz} - 0,109P_z - 0,269h + 1,15 \quad (43)$$

$$D_s = 0,649D_z - 0,057P_z^2 - 0,133h - 0,245r + 18,92 \quad (44)$$

gdzie: P_s – plon suchej masy zebranego siana ($t \cdot ha^{-1}$),
 P_z – plon suchej masy skoszonych roślin ($t \cdot ha^{-1}$),
 Q_{bos} – zawartość białka ogólnego w sianie (% s.m.),
 Q_{baz} – zawartość białka ogólnego w skoszonych roślinach (% s.m.),
 h – liczba godzin suszenia o wilgotności względnej powietrza $\geq 85\%$,
 D_s – strawność suchej masy siana (%),
 D_z – strawność suchej masy skoszonych roślin (%).

Model matematyczny opracowany przez Rückera i Knabe (1977) jest następujący:

$$S_{od-w} = -1,343 + 0,547g + 0,169r_1 + 0,088r_2 + 0,062Q_w \quad (45)$$

gdzie: S_{od-w} – straty oddychania oraz wymywania przez deszcz (% s.o. d^{-1})
 g – gęstość pokosu zielonki ($kg \cdot m^{-2}$),
 r_1 – opady deszczu w dniu pomiaru strat (mm),
 r_2 – opady deszczu w przeddzień pomiaru (mm),
 Q_w – zawartość rozpuszczalnych węglowodanów (% s.o).

Biorąc pod uwagę wartość współczynników regresji wyżej wymienionego równania należy stwierdzić, że największy udział w kształtowaniu zmienności strat oddychania i wymywania S_{od-w} ma masa $1 m^2$ pokosu zielonki oraz opady deszczu w dniu pomiaru strat. Warto również podkreślić, że w warunkach przeprowadzonego doświadczenia zmienna Q_w stała się czynnikiem najmniej przydatnym dla oszacowania tych strat.

Sundberg i Thylén (1994) opracowali model matematyczny, który dotyczy strat wymywania składników pokarmowych z paszy poddawanej kondycjonowaniu i intensywnej obróbce mechanicznej połączonej z matowaniem. Jego postać jest następująca:

$$S_w = [a(100 - m)^2 + b(100 - m) + c]e^{d/r} \quad (46)$$

gdzie: a, b, c, d – współczynniki zamieszczone w tabeli 26.

Tabela 26. Współczynniki do równania (46) określającego straty powodowane opadami deszczu (Sundberg i Thylén 1994)

Table 26. Coefficients for the leaching losses equation (46) (Sundberg and Thylén 1994)

Rodzaj paszy Forage kind	Współczynniki – Coefficients			
	a	b	c	d
Pasza kondycjonowana (walce zgniatające) – Conditioned forage (crushing rollers)				
Lucerna – Alfalfa	0	0,026	0,12	-9,3
Trawy i koniczyna czerwona Grasses and red clover	0	0,060	-0,61	-15,0
Pasza poddana maceracji i matowaniu – Macerated forage mat				
Lucerna – Alfalfa	0,005	-0,67	58	-7,4
Koniczyna czerwona – Red clover	0,006	0,68	49	-6,8
Trawy – Grasses	0,004	-0,49	41	-9,9

Straty obliczone na podstawie równania (46) dla zielonki poddanej kondycjonowaniu są niskie (do 3%). Współczynnik a w tych równaniach jest zerem. Straty dotyczące paszy poddanej intensywnej obróbce mechanicznej (maceracja + matowanie) są natomiast bardzo wysokie (nawet do 30 %), współczynnik „a” w tym przypadku jest większy od zera a zależność w nawiasie kwadratowym staje się wielomianem drugiego stopnia.

Model matematyczny opracowany przez Smitha i Browna (1994) uwzględnia jako zmienne niezależne: opad deszczu, wilgotność materiału w chwili rozpoczęcia padania deszczu oraz natężenie opadu deszczu. Jego postać jest następująca:

$$\log S_w = -1,45 + 0,228r - 10^{-2}r^2 + 1,55 \cdot 10^{-4}r^3 - 7,34 \cdot 10^{-3}I - 1,8 \cdot 10^{-10}m^3 \quad (47)$$

gdzie: I – intensywność deszczu ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

Modele matematyczne dla strat suchej masy kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.) i trawy bermudzkiej (*Cynodon dactylon* L.), opracowane przez Scarbrougha i innych (234) są wielomianami drugiego stopnia, w którym zmienną niezależną jest poziom opadu deszczu. Postacie tych modeli obliczane w oparciu o dane z badań Fonnesbecka i innych (1986) przedstawiają następujące równania:

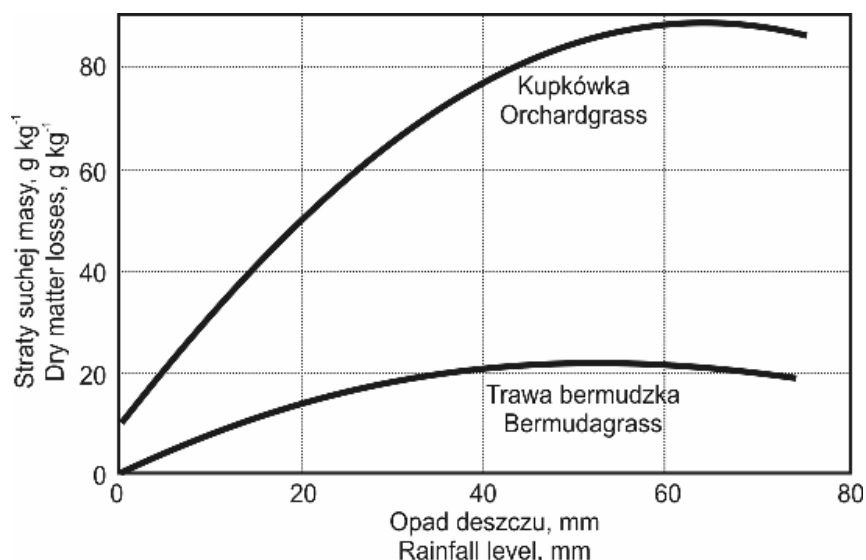
- dla trawy bermudzkiej

$$S_w = 10^{-2}(4,9 + 8,3m + 0,081m^2) \quad (48)$$

- dla kupkówki pospolitej

$$S_w = -0,002m^2 + 0,239m + 1,029 \quad (49)$$

Z zależności przedstawionych na rysunku 30 wynika, że istnieją duże różnice w podatności siana z kępki pospolitej i trawy bermudzkiej na straty powodowane opadami deszczu.



Rys. 30. Straty suchej masy siana z kępki pospolitej i trawy bermudzkiej w zależności od wielkości opadu deszczu (początkowa wilgotność kępki 13%, trawy bermudzkiej 15,3%) (Scarborough i in. 2005)

Fig. 30. Dry matter losses of cocksfoot and bermudagrass hay in relation to rainfall amount (initial moisture content of cocksfoot 13%, bermudagrass 15.3%) (Scarborough *et al.* 2005)

Najwyższe straty suchej masy kępki pospolitej wynosiły około 8,5%. Podana wartość jest ponad czterokrotnie wyższa w zestawieniu z największymi stratami trawy bermudzkiej. Można sądzić, że jest to w pewnym stopniu podyktowane zróżnicowaną zawartością białka oraz węglowodanów strukturalnych w badanych paszach, a zwłaszcza takich składników jak hemiceluloza i lignina. Podane modele strat nie są w pełni przydatne do szacowania strat powodowanych opadami deszczu ze względu na brak uwzględnienia wilgotności paszy jako zmiennej niezależnej. Duża ilość wyników badań Scarborougha i innych (2005) pozwala na opracowanie bardziej precyzyjnych modeli strat suchej masy, które uwzględniałyby również wilgotność paszy w chwili poddawania jej opadom deszczu.

Na podstawie dostępnych materiałów bibliograficznych można stwierdzić, że wyniki badań strat powodowanych opadami deszczu są często rozbieżne i nieuporządkowane. Ze względu na ogromną różnorodność właściwości fizycznych

i chemicznych pasz oraz z powodu różnych warunków polowego suszenia zielonek zakresy zmienności strat wymywania S_w nawet dla tego samego gatunku roślin są duże (Dernedde i Honig 1979, Honig 1979, Salo i Virtanen 1983).

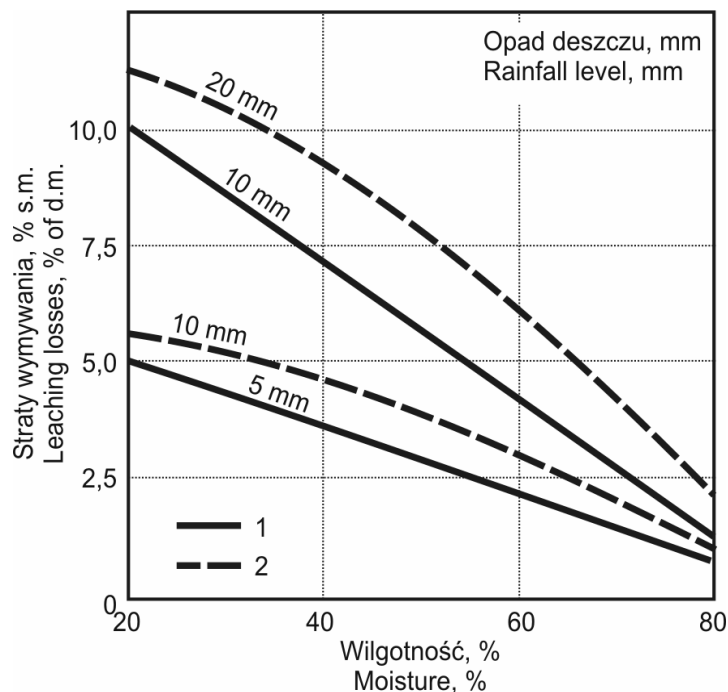
Na proces wymywania wpływają różnorodne i zmienne czynniki atmosferyczne i właściwości roślin, które wraz z niejednorodnymi metodami badań tych strat uniemożliwiają miarodajne porównywanie wyników. Zaproponowane równania, mające postać formuł empirycznych, nie pozwalają na precyzyjne określenie przebiegu modelowanego procesu (rys. 31).

Niekiedy zdarzają się trudności w wyznaczeniu wartości współczynników. Uwaga ta dotyczy na przykład zależności podanej przez Parke, Dumonta i Boyce'a (1978), w której występuje tylko jeden współczynnik oznaczony symbolem a . Konstrukcja tego równania została opracowana na podstawie wyników badań Dernedde i Wilschmena (1969), które informują o 1% stracie suchej masy paszy o wilgotności 20% przy ilości opadów równej 10 mm. Z podanych wyżej warunków wynika, że wartość współczynnika a wynosi 1. Straty wymywania obliczone na podstawie podanego równania (dla $a = 1$) są znacznie mniejsze w porównaniu z wynikami badań innych autorów (Bockstaele i in. 1979, Hart i Burton 1967, Rees 1982, Salo i Virtanen 1983). W takiej sytuacji zaistniała konieczność zwiększenia wartości a z 1 do 10 i uwzględnienia nie sumarycznej wielkości opadów atmosferycznych, lecz tylko tej części opadu, która przenika przez warstwę suszonego materiału. Proponowany model ma następującą postać:

$$S_w = r_p \left(\frac{90 - m}{70} \right) \quad (50)$$

gdzie: r_p – część opadu atmosferycznego przenikającego przez warstwę suszonej paszy (mm).

Reasumując można stwierdzić, że w Polsce brak jest badań dotyczących strat składników pokarmowych towarzyszących suszeniu pasz zielonych w naturalnych, często nie sprzyjających warunkach atmosferycznych. Analizując wyniki badań autorów zagranicznych widać, że są one często rozbieżne, a proponowane modele matematyczne różnią się znacznie i nie mogą znaleźć bezpośredniego zastosowania przy szacowaniu strat. Biorąc pod uwagę, iż produkcja dobrego jakościowo siana jest konieczna, należy podjąć badania w warunkach krajowego rolnictwa. Problem ten jest bowiem bardzo ważny, gdyż w końcowym efekcie decyduje o bilansie paszowym zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym.



Rys. 31. Straty wymywania w funkcji wielkości opadów i wilgotności paszy: 1 – wg Parke, Dumonta i Boyce’a (1978), 2 – wg Haddersa (1986)

Fig. 31. Leaching losses in relation to the amount of rainfall and moisture content in green fodder: 1 – according to Parke, Dumont and Boyce (1978), 2 – according to Hadders (1986)

5. STRATY POWODOWANE PRZEZ MASZYNY

Straty mechaniczne to części roślin pozostawione na polu (łące) w wyniku oddziaływania zespołów roboczych maszyn na obrabiany materiał (Rees 1982, Rücker i Knabe 1983, Ruszała 2001, Safta i in. 1969, Savoie 1988, 2001, Savoie i in. 1992, 1997, Savoie i Beauregard 1990, 1991). Wyróżniamy następujące kategorie strat:

- części roślin powyżej założonej wysokości koszenia (straty ścierniskowe),
- delikatne części roślin, które ulegając wykruszeniu i obłamywaniu są pozostawiane na polu (łące) podczas koszenia, kondycjonowania, roztrząsania, przetrząsania, zgrabiania, zbioru, operacji załadunkowych i wyładunkowych i transportu,
- materiał pozostawiony na powierzchni, z której zgrabiano materiał,
- rośliny pozostawione na polu (łące) w miejscu zebranego wału,

- materiał gubiony w czasie transportu i prac załadunkowych i wyładunkowych.

Możemy wyróżnić trzy sposoby zbierania materiału stanowiącego straty mechaniczne: ręczny, z zastosowaniem wentylatora ssącego oraz z wykorzystaniem sztucznego „podłoża”. W wielu opracowaniach podkreśla się, że określanie strat powodowanych tylko roztrząsaniem, przetrząsaniem, zgrabianiem, a także i częściowo zbieraniem bywa nieprawidłowe. Zebrany materiał może być sumą strat, w której znaczną pozycję stanowią straty powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną. Może to mieć miejsce wtedy, jeśli zbieranie pozostawionego materiału na łące (polu) będzie dokładne (z zastosowaniem wentylatora ssącego). Ręczne zbieranie materiału jest bardzo pracochłonne i mało dokładne, gdyż nie można praktycznie zebrać bardzo drobnych części roślin. Metoda z zastosowaniem wentylatora ma poważną wadę, gdyż konieczne staje się później wydzielenie z zebranego materiału zanieczyszczeń (mogą to być np. owady, insekty). W ostatnich latach stosuje się coraz częściej metodę z wykorzystaniem sztucznego „podłoża”. Pozwala ona na bardziej dokładną ocenę strat mechanicznych powodowanych różnymi zabiegami technologicznymi. Podłożenie plastikowej folii pod pokos uformowany przez kosiarkę pozwala na szybkie określenie strat związanych z koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną. Prowadzenie kolejnych zabiegów z materiałem znajdującym się na folii umożliwia określanie dalszych strat mechanicznych Buckmaster (1993) uważa jednak, że rodzaj powierzchni sztucznego „podłoża” może mieć duży wpływ na straty powodowane roztrząsaniem, przetrząsaniem i zgrabianiem. Straty mechaniczne związane z wymienionymi zabiegami a oceniane na gładkim „podłożu” mogą być znacznie mniejsze w zestawieniu ze stratami powstałymi w warunkach polowych (zwłaszcza podczas obróbki materiału z roślin gruboładogowych). Utrudnione przemieszczanie materiału po ściernisku powoduje powstawanie dodatkowych strat mechanicznych. W celu stworzenia warunków prowadzenia badań zbliżonych do występujących w praktyce rolniczej, Buckmaster (1993) proponuje stosowanie sztucznego „ścierniska”. Na elastycznej macie gumowej grubości 5 mm zamocowano pędzelki (długość 5 mm, średnica 5 mm) z tworzywa UEX (Universal Brush Company – Chicago). Pędzelki te uformowano z około 15-20 włókien z wymienionego tworzywa, a ich rozmieszczenie utworzyło siatkę, której wymiary „oczek” wynosiły 50 mm x 50 mm. Budowa pędzelków miała odpowiadać pojedynczej jednostce lucerny (czyli łodyg wyrastających z szyjki korzeniowej). Sztuczne „ścierniska” wyprodukowane na bazie wymienionych materiałów mogą być wielokrotnie stosowane – przemieszczające się po nich ciągniki ze współpracującymi maszynami nie powodują ich uszkodzenia.

5.1. Straty powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną

Pierwszym zabiegiem stosowanym w technologiach zbioru roślin łądowych z przeznaczeniem na zielonkę, siano lub kiszonkę jest koszenie, które może być realizowane maszynami wyposażonymi w różne typy zespołów tnących (nożycowe, rotacyjne z pionową lub poziomą osią obrotu elementów roboczych). Ocenę jakości pracy kosiarek dokonuje się na podstawie oceny (Beyer i Vérosta 1965, Klinner 1969, Klinner i Shepperson 1975, Koegel i in. 1985a, Lehmann i in. 1992, Nowak 1993):

- strat ścierniskowych,
- stopnia rozdrobnienia koszonych roślin,
- czystości cięcia (określanej stanem końców ścierniska).

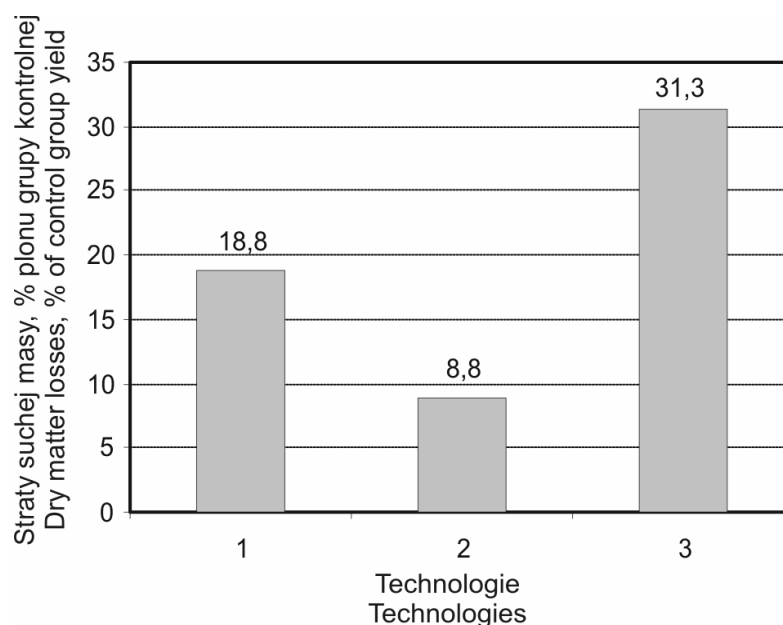
W ostatnich latach coraz częściej kosiarki wyposaża się w zespoły mające na celu obróbkę mechaniczną ściętych roślin, która przyspiesza proces polowego ich suszenia (Akkharath i in. 1996, Gach i Pintara 2000, Gerighausen 1996, Harris i Tullberg 1980, Rotz i in. 1984). Wpływa to na skracanie czasu przebywania paszy na polu (łące) i zmniejszenie uzależnienia się od warunków atmosferycznych. Zabiegi te niekiedy bardzo mocno uszkadzają obrabiane rośliny i zwiększają straty (Greenlees i in. 2000, Luger 1993a, 1993b, Murdoch i Bare 1963, Savoie 2001).

5.1.1. Czynniki wpływające na straty

Barrington i Bruhn (1970) przeprowadzili serię doświadczeń mających na celu określenie wpływu sposobu koszenia i wstępnej obróbki mechanicznej między innymi mieszanki lucerny ze stokłosą na szybkość jej suszenia i straty mechaniczne wynikające z oddziaływania zespołów roboczych stosowanych maszyn. Jako potencjalne straty mechaniczne (będące następstwem wymienionych wcześniej zabiegów) przyjęto te części roślin, które zostały wydzielone z materiału potrząsanego na siatce drucianej o wielkości "oczek" 5 cm x 5 cm. Z zależności przedstawionych na rysunku 32 wynika, że największe straty mechaniczne wynikają ze stosowania kosiarek bijakowych.

W niekorzystnych warunkach polowego suszenia zielonek (w okresie czerwca 1966 roku) straty wynosiły ponad 30%. Prawie trzykrotnie mniejsze straty odnosiły się do takich samych rozwiązań, jeśli warunki pogodowe były korzystne (wysoka temperatura powietrza, brak opadów deszczu). Warto również dodać, że pomiary strat dokonane w dwu kolejnych latach odnosiły się do zielonek o bardzo zróżnicowanych zawartościach suchej masy (od około 65% do prawie 90% suchej masy dla materiału zbieranego w 1965 roku oraz od 30% do 50% suchej masy dla paszy zbieranej w 1966 roku). Straty odnoszące się do materiału przebywającego na łące nieznacznie ponad dobę były stosunkowo niskie. Niekorzystne warunki

atmosferyczne panujące w okresie ponad dwudobowego przebywania skoszonych roślin na polu w decydujący sposób wpłynęły na poziom strat mechanicznych. Najmniejsze straty (nie przekraczały one 1%) zarejestrowano podczas pracy kosiarek z nożycowym zespołem tnącym, które nie były wyposażone w zgniatacz pokosów. Należy jednak zwrócić uwagę, że podane wielkości strat określano po jednakowym czasie polowego suszenia zielonek różniących się zawartością suchej masy. Pasza nie poddawana obróbce mechanicznej była bardzo wilgotna w czasie pomiaru strat mechanicznych i mogło to w pewnym stopniu zadecydować o ich małej wartości.

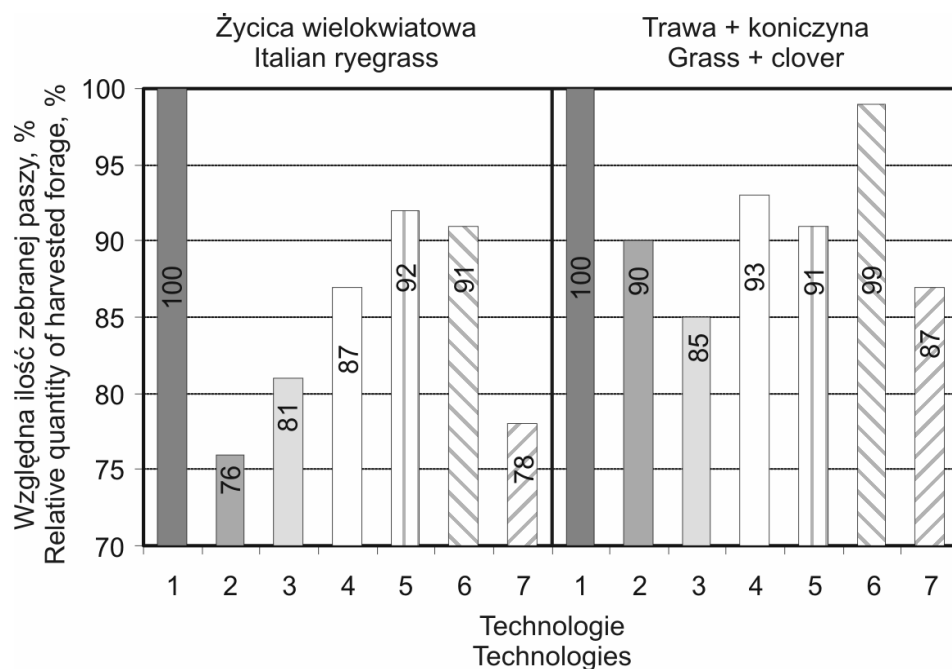


Rys. 32. Straty suchej masy powodowane koszeniem (z jednoczesną obróbką mechaniczną) oraz przetrząsaniem (podane straty odniesiono do grupy kontrolnej, w której zastosowano tylko kosiarkę nożycową; przebywanie paszy na łące od 8 do 17 czerwca) (Barrington i Bruhn 1970): 1 – kosiarka nożycowa przetrząsaczo-zgrabiarka karuzelowa, 2 – kosiarka kondycjonująca z dwoma gumowymi walcami, 3 – kosiarka bijakowa

Fig. 32. Dry matter losses caused by cutting (together with mechanical conditioning) and tedding (mentioned losses referenced to control group with only cutterbar mower, drying period from 8th to 17th June) (Barrington and Bruhn 1970): 1 – cutterbar mower, rotary rake-tedder, 2 – mower-conditioner with two rubber rollers, 3 – flail mower

Na uwagę zasługują również wyniki badań prowadzonych przez Klinnera (1969), które dotyczyły wpływu sposobu koszenia i wstępnej obróbki mechanicznej zielonki na: ilość i jakość zebranej późniejszej paszy, straty wynikające z niezachowania wyma-

ganej wysokości koszenia, ilość paszy pozostawionej w miejscu zebranego wału. Z zależności przedstawionych na rysunku 33 wynika, że istnieją znaczne różnice w ilości zebranej paszy przy stosowaniu poszczególnych wariantów technologicznych. Najbardziej jest to widoczne na przykładzie życicy wielokwiatowej.

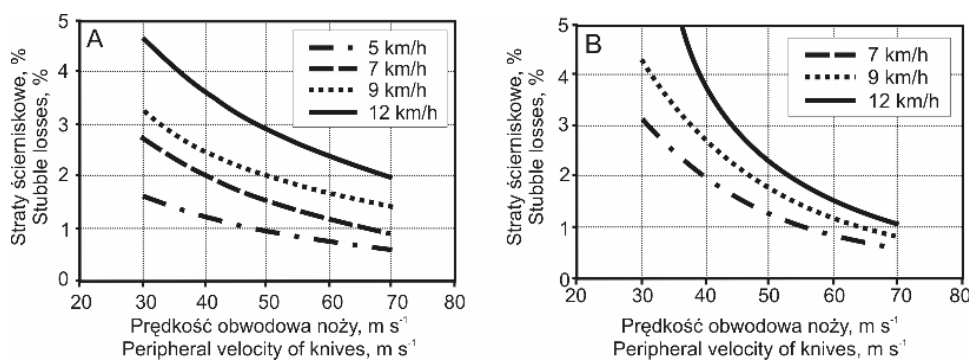


Rys. 33. Względna ilość zebranej paszy w postaci siana w zależności rodzaju stosowanych maszyn do koszenia i wstępnej obróbki (Klinner 1969): 1 – grupa kontrolna (kosiarka z nożycowym zespołem tnącym o szerokości roboczej 1,5 m), 2 – kosiarka z nożycowym zespołem tnącym (szerokość robocza 2,7 m) wyposażona w profilowane walce zgniatające, 3 – kosiarka jednobębnowa wyposażona w kondycjoner bijakowy, 4 – kosiarka dwubębnowa (szerokość robocza 1,7 m), 5 – kosiarka czterobębnowa o szerokości roboczej 1,6 m, 6 – kosiarka czterodyskowa o szerokości roboczej 1,7 m, 7 – kosiarka bijakowa o szerokości roboczej 1,2 m

Fig. 33. Relative quantity of harvested forage in the form of hay in relation to type of machines applied for mowing and initial mechanical treatment (Klinner 1969): 1 – control group (cuttebar mower with cutting width of 1.5 m), 2 – cuttebar mower (cutting width of 2.7 m) equipped with corrugated rolls, 3 – one-drum mower equipped with flail conditioner, 4 – two-drum mower with a cutting width of 1.7 m, 5 – four-drum mower with a cutting width of 1.6 m, 6 – four-disk mower with a cutting width of 1.7 m, 7 – flail mower with a cutting width of 1.2 m

Zastosowanie przyczepianej kosiarki z nożycowym zespołem tnącym o dużej szerokości roboczej (2,7 m) i wyposażonej w profilowane walce zgniatające wpłynęło na zebranie względnie małej ilości paszy (około 76% suchej masy paszy

w odniesieniu do grupy kontrolnej). Wynikało to głównie z dwu powodów. Pierwszy z nich to wzrost strat z powodu obróbki skoszonych roślin przez walce zgniatające (intensywne łamanie łodyg zwiększające ilość strat zwanych stratami wykruszania). Drugi powód zmniejszenia zebranego plonu to straty wynikające z niezachowania wymaganej wysokości koszenia (straty ścierniskowe wynosiły ponad 3,5%). Jest to wartość wyższa nawet od strat ścierniskowych powodowanych kosiarką bijakową, której szerokość robocza wynosiła 1,2 m. Na podkreślenie zasługują wyniki badań odnoszące się do technologii zbioru mieszanki traw z koniczyną, w których stosowano kosiarkę bijakową oraz kosiarkę bębnową wyposażoną w kondycjoner bijakowy. Ilość zebranej paszy stanowiła 85-87% plonu siana z grupy kontrolnej. O wielkości strat zadecydowały głównie straty drobnych części paszy powstałe na skutek intensywnej obróbki bijakowymi elementami roboczymi.



Rys. 34. Straty ścierniskowe w funkcji prędkości obwodowej noży i prędkości kosiarki (Marszałek 1973): A – lucerna (plon 22 t·h⁻¹, zagęszczenie roślin 800 szt·m⁻², wilgotność 77,4%), B – trawa łąkowa (plon 16,4 t·h⁻¹, zagęszczenie roślin 7360 szt·m⁻², wilgotność 72,3 %)

Fig. 34. Stubble losses caused by rotary mower versus peripheral speed of knives and speed of mower (Marszałek 1973): A – alfalfa (yield of 22 t h⁻¹, plant density 800 units m⁻², moisture 77.4%), B – meadow grass (yield 16.4 t ha⁻¹, plant density 7360 units m⁻², moisture 72.3%)

W wielu opracowaniach podkreśla się, że wielkość strat powodowanych kosiarkami rotacyjnymi zależy między innymi od prędkości roboczej maszyny i prędkości obwodowej noży. Badania Marszałka (1973) dotyczyły oceny wpływu typu kosiarek rotacyjnych, kształtu noży i parametrów eksploatacyjnych na straty ścierniskowe oraz rozdrobnienie koszonej lucerny i trawy łąkowej. Z zależności przedstawionych na rysunku 34 wynika, że analizowane parametry eksploatacyjne mają duży wpływ na wielkość określanych strat. Podczas koszenia lucerny (grube i sztywne rośliny) (rys. 34A) można stosować znacznie większe prędkości robocze w porównaniu do traw (rys. 34B).

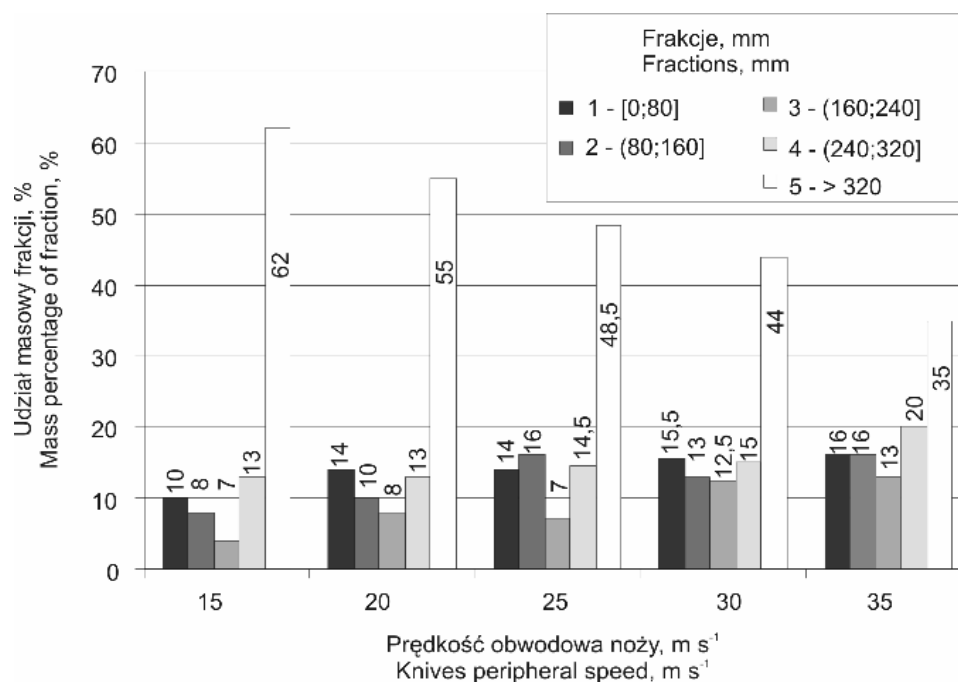
Zastosowane w tym doświadczeniu noże skośne i okrągłe przyczyniały się do powstawania znacznie większych strat w zestawieniu z nożami, które są obecnie stosowane w kosiarkach rotacyjnych. Koszenie wiotkich traw łąkowych maszynami o pionowej osi obrotu zespołów roboczych powodowało powstawanie dwukrotnie wyższych strat w porównaniu do strat lucerny, która ma grube i sztywne łodygi. Cienkie i wiotkie łodygi traw łąkowych (zwłaszcza pochodzących z gęstego łąnu), charakteryzujące się małą bezwładnością są poddawane intensywnemu rozdrabnianiu przez wirujące elementy robocze. Znaczna ilość krótko pociętych roślin jest niekorzystna, gdyż powiększa potencjalne straty związane z pracą zespołów roboczych przetrząsaczo-zgrabiarek oraz podbieraczy maszyn zbierających.

Największe rozdrobnienie koszonych roślin powodują maszyny rotacyjne o poziomej osi obrotu (kosiarki bijakowe). Jest to wynikiem wielokrotnego przecinania łodyg wirującymi w płaszczyźnie pionowej bijakami. Proces ścinania roślin tymi maszynami rozpoczyna się od górnych partii łąnu i postępuje w dół roślin. Zmniejszenie prędkości roboczej tych maszyn wpływa na zmniejszenie wysokości ścierniska ale zwiększa się rozdrobnienie roślin. Wyniki badań Marszałka (1973) wykazały, że rozdrobnienie zależy od ilości masy materiału przypadającego na element roboczy w czasie jednego obrotu bębna. Dla największej wartości prędkości obwodowej noża ($35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) frakcja o długości do 80 mm stanowiła około 18% masy ściętego materiału (rys. 35).

Najkorzystniejszym składem charakteryzowała się zielonka koszona przy prędkości obwodowej noży $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, gdyż frakcja powyżej 320 mm stanowiła ponad 60% masy skoszonych roślin. Praca kosiarki bijakowej przy tej prędkości noży powodowała powstawanie znacznych strat ścierniskowych, które mogą wynosić 7-8%, nawet wtedy jeśli prędkość robocza maszyny nie przekraczała $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Marszałek 1973). Zwiększenie prędkości roboczej maszyny do $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ spowodowało wzrost strat ścierniskowych o prawie 10 punktów procentowych.

W ostatnich latach opublikowano wiele artykułów dotyczących oceny pracy kosiarek pod względem strat powodowanych zespołami kondycjonującymi o różnej budowie (Savoie i in. 1993a, 1993b, 1994, Shinnars i in. 1987b, 1991, 1992, Suwarno i in. 1999). Greenlees i inni (2000) badali cztery warianty konstrukcyjne kosiarki kondycjonującej firmy John Deere oznaczonej symbolem 930, której szerokość robocza wynosi 3,4 m. Trzy z nich były wyposażone w wirnik z elementami roboczymi w kształcie litery Y (stalowe) lub U (plastikowe i stalowe) o jednakowym promieniu dynamicznym. W czwartym wariantcie zastosowano zespół dwóch walców, których liniowe obciążenie wynosiło $3500 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ i $5200 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. W wirnikowych zespołach kondycjonujących intensywność obróbki skoszonych roślin zmieniano poprzez zmianę obrotów wirnika ($620 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ lub $790 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$) i odległości pomiędzy elementami roboczymi a obudową (11 cm, 8 cm lub 4 cm). Jako miernik strat powodowanych zespołami kondycjonującymi przyjęto masę najdrobniej-

szych części roślin, które pozostały na brezentowej „płachcie” podłożonej pod zielonkę opuszczającą maszynę, po delikatnym usunięciu, widłami z pięcioma zębami, głównej partii materiału. Ten sposób określania strat różni się znacznie od procedury zastosowanej przez Barringtona i Bruhna (1970), którzy dokonywali przetrząsania materiału i wydzielania z niego znacznie większej ilości drobnych części roślin. Straty określone metodą „na płachtę” (tab. 27) są znacznie niższe w zestawieniu z wynikami Barringtona i Bruhna (1970).



Rys. 35. Wpływ prędkości obwodowej płaskich noży kosiarki bijakowej na rozdrobnienie lucerny (plon 25,1 t·ha⁻¹, zagęszczeni roślin 720 szt·m⁻², wilgotność 76,9%, prędkość robocza 6 km·h⁻¹) Marszałek 1973)

Fig. 35. Effect of peripheral velocity of flat knives of flail mower on alfalfa shredding (yield of 25.1 t ha⁻¹, plants density of 720 unit m⁻², moisture content of 76.9%, working velocity of 6 km h⁻¹) (Marszałek 1973)

Straty powodowane wirnikowymi zespołami kondycjonującymi są wyższe od tych, które wynikają z pracy walców zgniatających (o prawie 45%). Największy wpływ na straty powodowane zespołami wirnikowymi miała ich prędkość obrotowa. Nie zaobserwowano natomiast praktycznie żadnego wpływu odległości pomiędzy elementami roboczymi a obudową na określone straty (od 6,69 do 6,77%).

Tabela 27. Straty liści lucerny powodowane kosiarką John Deere 930 wyposażoną w różne zespoły kondycjonujące (Greenlees i in. 2000)

Table 27. Losses of lucerne leaves caused by John Deere 930 mower equipped with various conditioning units (Greenlees *et al.* 2000)

Zespół kondycjonujący Conditioning unit	Straty liści (% s.m. plonu) Leaf losses (% d.m. of yield)	
	Obróbka intensywna Aggressive treatment	Obróbka delikatna Gentle treatment
Wirnik – Rotor ⁽¹⁾		
- stalowe elementy w kształcie litery Y steel Y-shaped elements	6,21	6,15
- stalowe elementy w kształcie litery U steel U-shaped elements	7,87	7,15
- plastikowe elementy w kształcie litery U plastic U-shaped elements	6,14	7,05
Walce zazębiające się Intermeshing rolls ⁽²⁾	4,43	4,92

⁽¹⁾obróbka intensywna: obroty wirnika 790 obr·min⁻¹, odległość między elementami roboczymi a obudową 4 cm – aggressive treatment: rotor speeds of 790 rpm, distance between the working units and hood of 4 cm;

obróbka delikatna-obroty wirnika 620 obr·min⁻¹, odległość między elementami roboczymi a obudową 11 cm – gentle treatment: rotor speeds of 620 rpm, distance between the working units and hood of 11 cm;

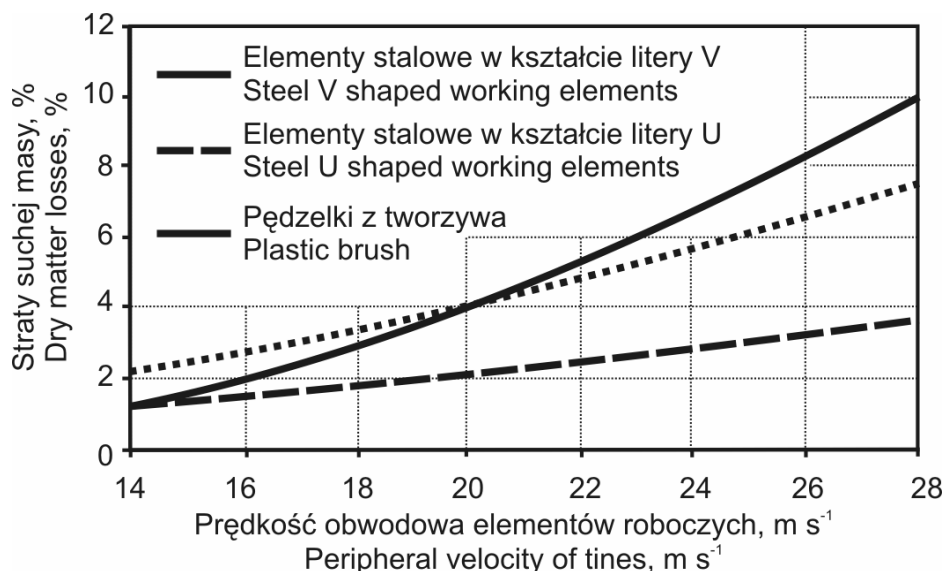
⁽²⁾obróbka intensywna: przy obciążeniu liniowym walców 5200 N·m⁻¹ – aggressive treatment: at linear load on the rolls of 5200 N m⁻¹;

obróbka delikatna: przy obciążeniu liniowym walców 3500 N·m⁻¹ – gentle treatment: at linear load on the rolls of 3500 N m⁻¹.

Oceną wpływu prędkości obwodowej elementów roboczych (stalowych w kształcie litery V i U oraz typu „pędzelków” z tworzywa sztucznego) wirnika kosiarki kondycjonującej na straty mechaniczne zajmował się Napieraj (1990). Z zależności przedstawionych na rysunku 36 wynika, że wraz ze wzrostem prędkości obwodowej wymienionych elementów roboczych zwiększają się straty.

Mogą one wynosić ponad 9%, jeśli prędkość obwodowa stalowych elementów roboczych przekraczała 27,5 m·s⁻¹. Mniej agresywna obróbka zielonki wirnikiem wyposażonym w „pędzelki” powodowała znacznie mniejsze straty (przeciętnie o około 3%) w zestawieniu do strat powodowanych elementami stalowymi w kształcie litery U. Należy jednak wspomnieć o metodzie określania strat mechanicznych, którą zaproponował Napieraj (1990). Za straty powodowane koszeniem i kondycjonowaniem przyjęto te części roślin, które zostały wydzielone z materiału w bębnowym separatorze, którego bęben (średnica bębna – 1,35 m,

długość – 1,5 m, obroty – $31,5 \text{ s}^{-1}$) był wykonany z siatki metalowej o oczkach kwadratowych 40 mm. Próbkę o masie 20 kg przebywała wewnątrz bębna 180 sekund. Podobnie postępowano z materiałem ściętym kosiarką bez włączonego zespołu kondycjonującego. Różnice w otrzymanych wynikach uznano za straty powodowane tylko zespołem kondycjonującymi. Ten sposób określania strat daje znacznie mniejsze wartości w zestawieniu z wynikami z innych badań, które podają sumę strat powodowanych zespołem ścinającym i kondycjonującym. Straty określone tą metodą są wyższe w zestawieniu ze stratami oznaczanymi przez Savoie i innych (1982), którzy określali je na podstawie ilości drobnych części roślin (krótsze niż 20 cm) pozostawionych w miejscu delikatnie usuniętego pokosu.



Rys. 36. Zależność strat mechanicznych od prędkości obwodowej zębów wirnika kondycjonującego (Napieraj 1990)

Fig. 36. Relationship between mechanical losses and peripheral speed of tines of conditioning rotor (Napieraj 1990)

Przebieg zależności strat suchej masy od prędkości obwodowej elementów roboczych wirnika (V) Napieraj (1990) opisał następującymi równaniami:

- dla elementów stalowych w kształcie litery V

$$S = 1,39 - 0,34V + 2,28 \cdot 10^{-2} V^2 \quad (51)$$

- dla elementów stalowych w kształcie litery U

$$S = 0,32 - 7,36 \cdot 10^{-3} V + 1,15 \cdot 10^{-2} V^2 \quad (52)$$

- dla „pędzelków” z tworzywa sztucznego

$$S = 0,88 - 5,88 \cdot 10^{-2} V + 1,08 \cdot 10^{-2} V^2 \quad (53)$$

Badania Shinnersa i innych (1991) dotyczyły oceny wpływu rodzaju kosiarki, konstrukcji walców zgniatających i stadium koszenia lucerny na straty powstające w czasie tego zabiegu. Wyniki tych badań wykazały, że faza rozwoju lucerny ma największy wpływ na straty związane z jej koszeniem. Straty wynikające ze ścięcia roślin młodych o dużej elastyczności łodyg i liści były ponad 40% niższe w zestawieniu ze stratami dotyczącymi koszenia roślin w pełni kwitnienia. Rodzaj stosowanej kosiarki oraz konstrukcja walców zgniatających miały mniejsze znaczenie w procesie powstawania strat mechanicznych.

Bardzo ciekawe wyniki badań otrzymano we Włoszech, które dotyczyły między innymi oceny strat powodowanych koszeniem lucerny i życicy wielokwiatowej maszynami dolnonapędowymi wyposażonymi w różne zespoły kondycjonujące (walce gumowe, wirniki ze stalowymi lub z tworzywa sztucznego bijakami) (Borreani i in. 1999). Z zależności przedstawionych w tabeli 29 wynika, że największe straty wynikały z koszenia lucerny maszyną ze stalowymi bijakami jako elementami roboczymi zespołu kondycjonującego (od 3,6 do 11,7%). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że najniższe straty występowały przy ścięciu roślin najbardziej wilgotnych (82,3% i 82,6%). Najwyższe straty zarejestrowano przy koszeniu roślin zawierających około 20% suchej masy.

Gumowe walce zespołu do mechanicznej obróbki ściętych roślin powodowały tylko kilkukrotnie większe straty w zestawieniu z kosiarką bez dodatkowego wyposażenia. Wyniki uzyskane podczas koszenia życicy wielokwiatowej maszynami wyposażonymi w zespoły kondycjonujące były podobne (tab. 28). Najwyższe straty wystąpiły podczas pracy maszyny wyposażonej w gumowe walce kondycjonujące, którą koszone rośliny zawierające stosunkowo dużo suchej masy i bogato ulistnione (stosunek masy liści do masy łodyg 0,48). Wynosiły one tylko 1,8% masy plonu. Jest to wartość tylko około 17% większa w zestawieniu do strat odnoszących się do kosiarki ze stalowymi bijakami (Borreani i in. 1999). Podczas koszenia życicy wielokwiatowej, której plon suchej masy był wysoki (od 5090 kg s.m.·ha⁻¹ do 6240 kg s.m.·ha⁻¹) zaobserwowano znacznie mniejsze straty (od 0,2 do 1,4% masy plonu). Obróbka skoszonych roślin zespołem ze stalowymi bijakami powodowała w tych warunkach nieznacznie większe straty niż para walców gumowych.

Tabela 30. Straty suchej masy (spowodowane podbieraniem) w zależności od rodzaju stosowanych zabiegów mechanicznych oraz sposobu zbioru (Savoie i in. 1997)

Table 30. Dry matter losses (caused by picking-up) according to the kind of applied mechanical treatment and harvesting method (Savoie *et al.* 1997)

Maszyna lub rodzaj zabiegu Machine or kind of treatment	Maszyna zbierająca — Harvesting machine			
	Sieczkarnia zbierająca ⁽¹⁾ Forage harvesting		Prasa do małych bel prostopadłościennych ⁽²⁾ Small rectangular baler	
	Wilgotność Moisture (%)	Straty Losses (%)	Wilgotność Moisture (%)	Straty Losses (%)
Kosiarka New Idea 5209 z zespołem formowania maty New Idea 5209 mower with mat-making unit	48,7	5,8	36,3	9,3
Kosiarka New Idea 5209 z dolnym przenośnikiem New Idea 5209 mower with lower conveyor of mat-making unit	50,7	5,8	34,8	6,9
Kosiarka New Idea 5209 bez przenośnika (wyrzucaniem zielonki na ściernisko) New Idea 5209 mower without conveyor (ejection of forage onto the stubble)	56,5	6,8	40,8	8,6
Kosiarka Khun FC300 (dwa walce stalowe) Kuhn FC300 conditioning mower (two steel rolls)	66,5	7,5	40,0	5,6
Materiał odwracany (4 h po skoszeniu) Inverted material (4 hour after mowing)	53,0	8,2	39,9	10,4
Materiał nieodwracany Not inverted material	58,3	4,6	46,7	4,8

⁽¹⁾ zbiór około 8 godzin po skoszeniu,

⁽²⁾ zbiór około 30 godzin po skoszeniu,

⁽¹⁾ harvesting about 8 h after mowing,

⁽²⁾ harvesting about 30 h after mowing.

Straty wynikające z koszenia roślin maszyną bez dodatkowego wyposażenia były bardzo niskie i wynosiły zaledwie 0,2% i 0,3% masy plonu. Są to wartości małe w zestawieniu z wynikami uzyskanymi w wielu innych badaniach.

Savoie i inni (1997) badali wpływ zespołu intensywnej obróbki, w który wyposażono dolnonapędową kosiarkę New Idea 5209 (szerokość robocza 2,8 m). Wersja rynkowa wymienionej maszyny ma dwa gumowe walce zgniatające (długość walca 2,1 m i średnica 23 cm). Modyfikacja zespołu mechanicznej obróbki skoszonych roślin polegała na:

- zastąpieniu górnego walca gumowego walcem stalowym (o takich samych wymiarach), ale o powierzchni drobno żłobkowanej (głębokość rowków 2,4 mm, odległość między nimi 3,2 mm),
- dodaniu pary stalowych walców (o takiej samej budowie jak poprzednio opisany), które usytuowano za pierwszą parą.

Dwa górne walce stalowe obracały się z prędkością 2000 obr. \cdot min⁻¹. Natomiast obroty dolnego walca stalowego były dwukrotnie mniejsze. Zadaniem walca gumowego było przede wszystkim „odbieranie” materiału z zespołu ścinania i dostarczanie go do szczeliny roboczej (pomiędzy walcami), która wynosiła 1 mm. Jego obroty wynosiły tylko 750 obr. \cdot min⁻¹. Wymieniony system intensywnej obróbki roślin stanowi modyfikację zespołu stosowanego w klasycznych maszynach matujących, które wyposażano w co najmniej 8 drobno rowkowane walce stalowe, ale stosunek obrotów walców górnych do obrotów walców dolnych był wtedy znacznie mniejszy (od 1,3 do 1,7). Z zależności przedstawionych w tabeli 30 wynika, że straty powodowane zmodyfikowanym zespołem mechanicznej obróbki mieszanki lucerny oraz traw łąkowych (85% lucerny oraz 15% traw łąkowych) o początkowej zawartości suchej masy 16,5% były wyższe w zestawieniu ze stratami powodowanymi kosiarką Kuhn FC 300 wyposażoną w dwa stalowe ząbiające się walce. Stwierdzenie to odnosi się tylko do strat, które oceniano po zbiorze paszy klasyczną prasą zbierającą. Może to być wynikiem mniejszej wilgotności materiału w porównaniu do paszy zbieranej siewkarnią. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że największe straty odnosiły się do paszy, która była układana za kosiarką w postaci cienkiej maty. Sposób określania strat paszy, które według przyjętej procedury postępowania, stanowiły drobne części roślin zebrane ręcznie po usunięciu zasadniczej masy materiału przez prasę zbierającą lub siewkarnię nie jest właściwy bowiem nie uwzględnia bardzo drobnych części roślin, a zwłaszcza liści.

Oceną wpływu intensywnej obróbki mechanicznej lucerny podczas koszenia na straty suchej masy zajmował się Savoie i inni (1999). Seryjnie produkowaną kosiarkę pokosową MacDon 920 (nożycowy zespół tnący, szerokość robocza 4,2 m) wyposażano w dwa typy zespołów kondycjonujących. Pierwszy z nich został zbudowany z sześciu walców, których długość wynosiła 1,5 m. Dwa pierwsze ząbiające się stalowe walce (średnica 23 cm, prędkość obrotowa 866 obr. \cdot min⁻¹) miały dostarczać wstępnie obrobioną masę ściętych roślin do szczeliny roboczej pomiędzy następnymi walcami, które były rowkowane wzdłuż osi (rozstaw rowków 3 mm, głębokość rowków 1,5 mm). Średnica zewnętrzna tych walców wynosiła 254 mm. Pierwszy górny

walec rowkowany obracał się z prędkością $1732 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$, a obroty drugiego rowkowanego walca górnego wynosiły $2165 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Prędkość obrotowa dolnych walców rowkowanych była jednakowa i wynosiła $866 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Odległość pomiędzy współpracującymi walcami wynosiła 1 mm. Materiał opuszczający zespół intensywnej obróbki był wyrzucany na ściernisko, a górna osłona umożliwia regulację szerokości formowanego pokosu w zakresie od 1,5 m do 2,1 m. Druga wersja zespołu intensywnej obróbki zbudowana została tylko z trzech walców rowkowanych, takiej samej konstrukcji jak walce poprzednio opisane. Obroty walców były następujące: górnego $866 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$, dolnych $1732 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Materiał opuszczający zespół walców mógł być wyrzucany bezpośrednio na ściernisko lub być delikatnie "rozprowadzany" przenośnikiem, którego szerokość wynosiła 1,5 m, a długość 1,2 m. Prędkość tego przenośnika była regulowana hydraulicznie i wynosiła około 110% prędkości roboczej maszyny.

Z danych przedstawionych w tabeli 31 wynika, że całkowite straty mechaniczne powodowane koszeniem, obróbką mechaniczną, odwracaniem pokosów i zbiorem prasą formującą małe bele prostopadłościennie były najwyższe dla wariantu z zastosowaniem dyskowej kosiarki Kuhn FC 300 wyposażonej w bęben ze stalowymi bijakami. Wynosiły one nawet 8%, jeśli pokos nie był poddawany procesowi odwracania. Można więc sądzić, że proces odwracania pokosów wpłynął na zmniejszenie strat, ale tylko w zakresie wymienionego wariantu technologicznego. Warto również dodać, że zastosowanie przenośnika, którego zadaniem było delikatne układanie obrobionej zielonki na ściernisku wpłynęło na zmniejszenie strat mechanicznych. Średnia wartość całkowitych strat mechanicznych wynosiła 5,3% dla wariantu z zastosowaniem kosiarki z przenośnikiem oraz 6,2% dla wariantu, w którym obrobiona zielonka był wyrzucana bezpośrednio na ściernisko. Wartości strat przedstawione w tabeli 30 określono na podstawie tylko masy części roślin o długości ponad 10 mm pozostawionych w miejscu zebranego pokosu. Straty zatem pomniejszono o masę drobnych części roślin, które pozostały na łące. Te części roślin mogą stanowić istotną pozycję w ogólnych stratach mechanicznych, jeśli materiał poddawany obróbce będzie charakteryzował się dużą zawartością liści bardzo podatnych na wykruszanie.

Ocena jakości pracy prototypowej kosiarki nożycowej wyposażonej w zespół do intensywnej obróbki mechanicznej (macerator zbudowany z ośmiu rowkowanych walców, których długość wynosiła 1,5 m, a średnica 20 cm) wykazała, że całkowite straty mechaniczne (związane z koszeniem, obróbką mechaniczną i formowaniem w tradycyjne bele prostopadłościennie) zależą głównie od rodzaju zbieranej paszy i jej wilgotności. Z danych przedstawionych w tabeli 32 wynika, że straty lucerny były kilkakrotnie wyższe w zestawieniu do strat tymotki łąkowej.

Tabela 31. Całkowite straty suchej masy lucerny (koszenie ze wstępną obróbką mechaniczną, odwracanie pokosów, zbiór) w zależności od stosowanych zabiegów (średnie z czterech terminów koszenia pierwszego pokosu) (Savoie i in. 1999)

Table 31. Total dry matter losses of alfalfa (mowing together with mechanical treatment, inversion of windrow, harvesting) in relation to applied treatment (average from four mowing dates of first cut) (Savoie *et al.* 1999)

Rodzaj kosiarki (zespół kondycjonujący) Kind of mower (conditioning unit)	Odwracacz pokosów ⁽²⁾ Windrow inverter ⁽²⁾	Straty suchej masy ⁽¹⁾ Dry matter losses ⁽¹⁾ (%)	
		Wąski pokos (1,5 m) Narrow windrow (1,5 m)	Szeroki pokos (2,1 m) Wide windrow (2,1 m)
Kosiarka nożycowa MacDon 920 (trzy walce kondycjonujące, przenośnik „wyładowczy”) MacDon 920 cutterbar mower (three conditioning rolls, deposition conveyor)	tak – yes nie – no	4,4 3,4	7,1 5,1
Kosiarka nożycowa MacDon 920 (trzy walce kondycjonujące), bez przenośnika „wyładowczego” MacDon 920 cutterbat mower (three conditioning rolls, without deposition conveyor)	tak – yes nie – no	6,6 4,2	9,1 4,9
Kosiarka kondycjonująca Kuhn FC300 (wirnik ze stalowymi elementami roboczymi) Kuhn FC300 disc mower (rotor with steel working elements)	tak – yes nie – no	6,9 5,9	8,4 10,2

⁽¹⁾zbiór prasą klasyczną New Holland 326 po 34 godzinach polowego suszenia – harvesting with small rectangular baler, New Holland 326, after 34 h of field drying,

⁽²⁾maszyna New Holland 166 – New Holland 166 machine.

Całkowite straty mechaniczne lucerny (koszenia, intensywnej obróbki mechanicznej, zbioru) wynosiły nawet ponad 8%, jeśli materiał w czasie zbioru zawierał tylko 26,5% wody. Zwiększenie wilgotności zbieranej paszy do ponad 60% wpłynęło na prawie dwuipółkrotne zmniejszenie określanych strat. Ze względu na różnice w wilgotności paszy w momencie formowania z nich bel dane w tabeli 32 nie w pełni informują o wpływie sposobu obróbki mechanicznej skoszonych roślin i rodzaju podbieracza prasy zbierającej na całkowite straty mechaniczne.

Tabela 32. Całkowite straty suchej masy powodowane koszeniem i zbiorem tymotki łąkowej i lucerny w zależności od rodzaju obróbki mechanicznej i typu podbieracza prasy formującej małe bele prostopadłościowe (Savoie i in. 1993a)

Table 32. Total dry matter losses caused by mowing and harvesting of timothy and alfalfa in relation to kind of mechanical treatment and pick-up type of small rectangular baler (Savoie *et al.* 1993a)

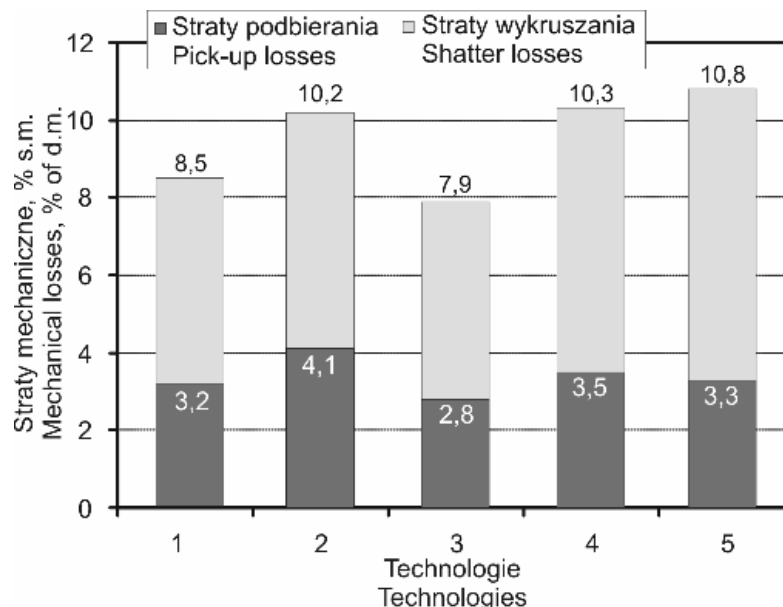
Zastosowane maszyny Applied machines	Tymotka łąkowa Timothy		Lucerna Alfalfa	
	Straty (% s.m.) Losses (% d.m.)	Wilgotność Moisture (%)	Straty (% s.m.) Losses (% d.m.)	Wilgotność Moisture (%)
Kosiarka listwowa z ośmiorolkowym maceratorem i zespołem formowania maty; klasyczna prasa zbierająca z podbieraczem palcowym Cuttebar mower with eight-roll macerator and mat-making unit; small rectangular baler with tine type pick-up	2,3	22,8	7,2	22,9
Kosiarka listwowa z ośmiorolkowym maceratorem i zespołem formowania maty; klasyczna prasa zbierająca z podbieraczem taśmowym Cuttebar mower with eight-roll macerator and mat-making unit; small rectangular baler with draper type pick-up	1,8	20,3	8,4	26,5
Dyskowa kosiarka kondycjonująca New Holland 411 z walcami gumowymi, klasyczna prasa zbierająca z podbieraczem palcowym Conditioning disc mower, New Holland 411, with rubber rolls; small rectangular baler with tine type pick-up	1,7	45,1	3,5	61,3

Procedura doświadczenia zakładała, że pasza będzie zbierana po jednakowym czasie polowego jej suszenia, bez względu na jej końcową wilgotność. Wyraźnie natomiast widoczne są różnice w szybkości suszenia materiału poddawanemu

zróżnicowanym zabiegom mechanicznym. Wątpliwości budzi również sposób określania strat mechanicznych, który uwzględnia tylko masę ręcznie zbieranych części roślin, które pozostały na łące (polu) po zbiorze. Nie są uwzględniane drobne części, które zawierają dużo składników pokarmowych i podnoszą jakość paszy.

Wyniki badań Fricka i Ammanna (Frick 2002, Frick i Ammann 1999, 2000) wykazały, że całkowite straty mechaniczne powstające w procesie produkcji siana i kiszonek zależą w dużej mierze od ilości i rodzaju stosowanych zabiegów. Dane zamieszczone na rysunku 37 informują, że całkowite straty suchej masy związane z realizowanymi zabiegami (koszenie, odwracanie pokosów, zbiór) okazały się najniższe dla wariantu technologicznego z maszyną Greenland HPC (High Performance Conditioner). Zdecydowały o tym zarówno straty wynikające z pracy zespołu podbierającego maszynę zbierającą jak i również straty będące drobnymi częściami roślin, które są efektem oddziaływania elementów roboczych stosowanych maszyn. Korzystne warunki atmosferyczne panujące w okresie badań Fricka i Ammanna (1999) umożliwiły także otrzymanie paszy o wymaganej zawartości suchej masy z zielonki poddanej obróbce mechanicznej tylko w czasie koszenia. Wielokrotne odwracanie materiału ścinanego kosiarką bez zespołu kondycjonującego przyczyniło się do powstawania dużych drobnych części roślin. Jeszcze większe straty towarzyszyły zabiegom realizowanym na materiale koszonym maszyną wyposażoną w kondycjoner do intensywnej obróbki.

W latach 80. ubiegłego stulecia wiele ośrodków naukowo-badawczych rozpoczęło prace nad konstrukcją maszyn do intensywnej obróbki roślin niskołodygowych, której celem było zwiększenie szybkości suszenia (Jones i Harris 1979, Savoie i in. 1999, Tsang-Mui-Chung i Verma 1982, Walther i in. 1989). Wynikiem licznie przeprowadzonych prób było opracowanie zespołów, które zgniatały i rozcierały obrabianą zielonkę. Proces ten nazwano maceracją. W początkowym okresie badań skupiono się przede wszystkim na ocenie wpływu tego zabiegu na szybkość suszenia oraz wartość otrzymywanej paszy (Frost i in. 1995, Shinnars i in. 1985, Thylén i Sundberg 1994, Wilkinson i in. 1999). Wyniki badań prowadzonych zwykle na maszynach stacjonarnych nie informowały o możliwościach wprowadzenia tej obróbki do praktyki rolniczej. Dalsze badania wykazały, że pozostawienie (na łące lub polu) w formie luźnej intensywnie obrobionych roślin będzie stwarzać duże problemy z ich zbiorem, gdyż znaczna część drobnych frakcji paszy może znaleźć się pomiędzy skróconymi łodygami, czyli ścierniskiem. W następnym etapie prac konstrukcyjnych zaproponowano rozwiązania, które z tak przygotowanej paszy umożliwiały formowanie maty. Celem tego zabiegu miało być ograniczenie strat wynikających ze zbioru paszy po odpowiednim jej podsuszeniu.



Rys. 37. Straty mechaniczne związane z produkcją siana przeznaczonego do dosuszania (zawartość suchej masy 59-73%) w zależności od stosowanych zabiegów mechanicznych (Frick i Ammann 1999): 1 – kosiarka bębnowa Pöttinger CAT 310 (bez kondycjonera), dwukrotne odwracanie pokosu, 2 – kosiarka bębnowa Pöttinger CAT 310 (bez kondycjonera), trzykrotne odwracanie pokosu, 3 – kosiarka Greenland HPC, bez odwracania pokosu, 4 – kosiarka Greenland HPC, jednokrotne odwracanie pokosu w dniu koszenia, 5 – kosiarka Greenland HPC, jednokrotne odwracanie pokosu w drugim dniu suszenia

Fig. 37. Mechanical losses in hay production for artificial drying (dry matter content of 59-73%) in relation to applied mechanical treatment (Frick and Ammann 1999): 1 – drum mower, Pöttinger CAT 310 (without conditioner), twice windrow inversion, 2 – drum mower, Pöttinger CAT 310 (without conditioner), triple windrow inversion, 3 – mower, Greenland HPC, without windrow inversion, 4 – mower, Greenland HPC, once windrow inversion on mowing day, 5 – mower, Greenland HPC, once windrow inversion on second day of field drying

Badania prowadzone przez Shinnersa i innych (1987a) oraz Rissera wraz z zespołem (1985) zmierzały do określenia wskaźnika podatności maty na zniszczenie podczas umieszczania jej na ściernisku. Tym miernikiem jest odległość pomiędzy dwoma równoległymi i usytuowanymi na jednakowej wysokości podporami, na których umieszczona mata ulega uszkodzeniu podczas rozsuwania podpór. Pojęcie uszkodzenia maty czyli wskaźnik na zniszczenie definiowano jako jej pęknięcie lub wystąpienie ugięcia powyżej 7,6 cm na szerokości nie mniejszej niż 33%. Wyniki badań Shinnersa i innych (1987a) wykazały, że określany wskaźnik zależy również od fizycznych parametrów materiału, z którego została uformowana.

Tymi parametrami są (rys. 38):

- umowny współczynnik powierzchni (P),
- stosunek masy frakcji najdłuższej (pozostającej na górnym sicie) do masy pozostałych frakcji (S),
- średnia geometryczna długość łodyg, które nie należały do skrajnych frakcji (L),
- wskaźnik rozdrobnienia (R).

Umowny współczynnik powierzchni autorzy wyznaczyli określając zdolność uszkodzonych komórek roślinnych do absorpcji wody. Założono przy tym, że intensywniejszej maceracji paszy odpowiada szybsza absorpcja wody. Umowny współczynnik powierzchni zdefiniowano jako stosunek masy próbki poddanej uprzednio krótkotrwałym procesom (zanurzeniu w wodzie, osączeniu oraz odwirowaniu) do masy suchej materii, którą określano na początku doświadczenia.

Wskaźnik rozdrobnienia określano na sitach na podstawie pomiarów frakcji pozostającej na sicie górnym (38 mm x 38 mm). Został on zdefiniowany jako stosunek ilości łodyg do ich masy wyrażonej w gramach.

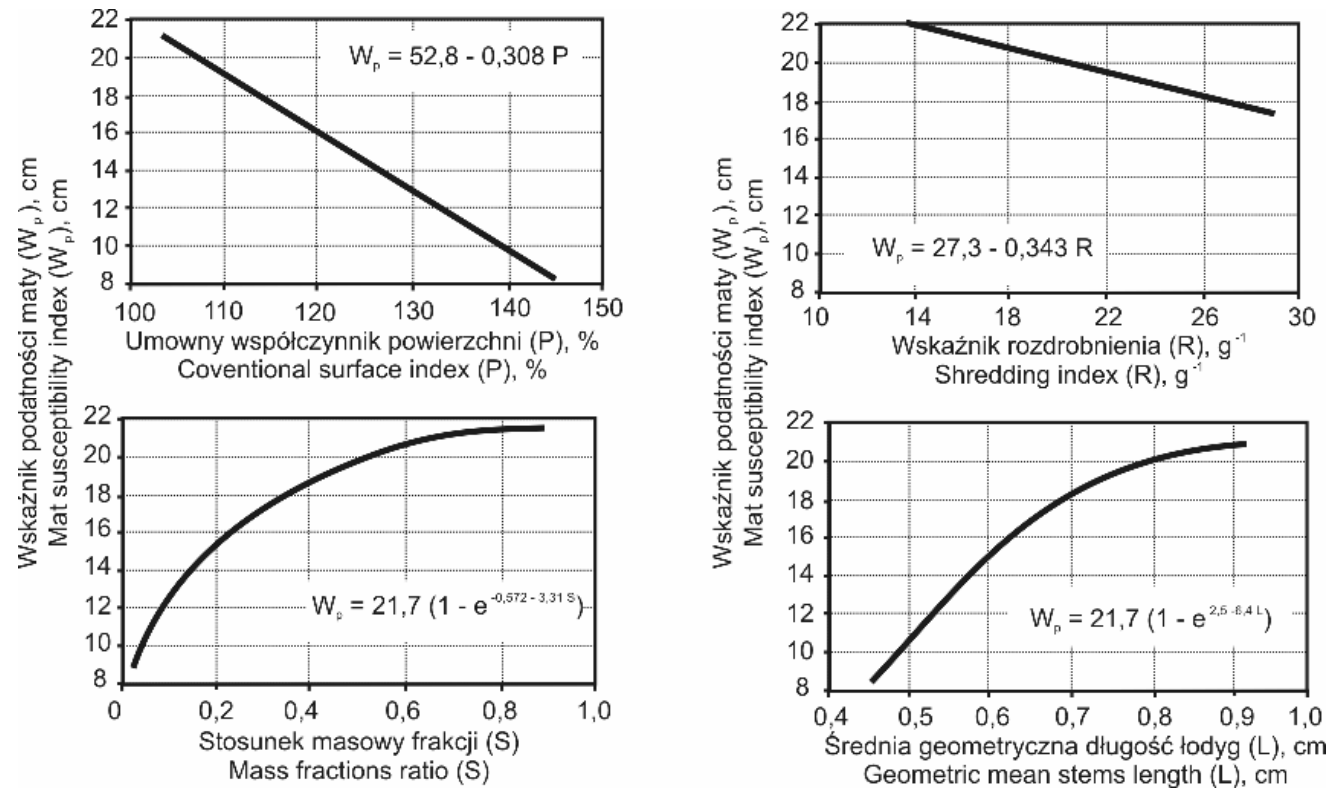
Z zależności przedstawionych na rysunku 38 wynika, że intensywniejszej obróbce roślin odpowiada większa podatność maty na zniszczenie.

Większej wartości umownego współczynnika powierzchni oraz wskaźnika rozdrobnienia roślin odpowiada większa podatność maty na zniszczenie. Zależności te opisano równaniami pierwszego stopnia. Inną postać mają zależności opisujące podatność maty na załamanie się w funkcji pozostałych parametrów obrabianej paszy (równania wykładnicze). Wraz ze wzrostem wartości tych parametrów zmniejsza się podatność mat.

Wyniki badań Rissera i innych (1985) wykazały, że podatność maty na załamanie się zależy również od:

- wilgotności materiału,
- masy przypadającej na jednostkę powierzchni,
- gęstości,
- warunków jej formowania (ciśnienie, czas i sposób zagęszczania).

Wpływ wilgotności zielonki z lucerny okazał się zróżnicowany w zależności od sposobu formowania maty. Zwiększeniu wilgotności (w warunkach prowadzonych badań z 66 do 72,7%) materiału zagęszczanego przenośnikami taśmowymi towarzyszy zwiększenie wskaźnika załamania maty. Natomiast wzrost wilgotności formowanej w warunkach statycznych zielonki z 75 do 83,2% spowodował zwiększenie podatności maty na załamanie. Wzrostowi ciśnienia i czasu zagęszczania materiału odpowiada mniejsza podatność maty na załamanie się bez względu na sposób jej formowania (statyczne lub dynamiczne). Jest to wynikiem jej większej spójności, gdyż poszczególne włókna materiału roślinnego tworzą ze sobą bardziej zwięzłą "konstrukcję". Analiza statystyczna wyników badań Rissera

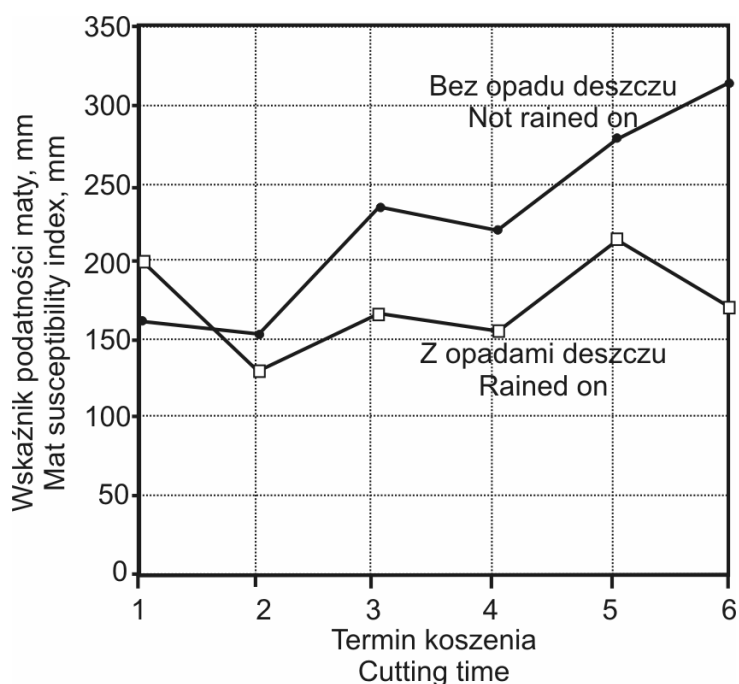


Rys. 38. Wskaźnik podatności maty na zniszczenie w zależności od fizycznych parametrów materiału (Shinners i in. 1987a)

Fig. 38. Index of mat susceptibility to failure in relation to physical parameters of material (Shinners *et al.* 1987a)

i in. (1985) wykazała, że gęstość maty jest najlepszym parametrem do oszacowania jej podatności na zniszczenie. Wyniki badań Rissera i in. (1985) wykazały również, że ze wzrostem stopnia rozdrobnienia materiału oraz powierzchniowej gęstości maty maleje jej podatność na zniszczenie.

W doświadczeniu Savoie i in. (1993b) oceniano wskaźnik podatności mat na zniszczenie, które formowano z zielonki lucerny i tymotki łąkowej. Rośliny koszone w sześciu różnych terminach (od 2 VII do 17 VII) w celu zbadania wpływu zawartości węglowodanów strukturalnych na określany wskaźnik podatności maty. Dodatkowym czynnikiem modyfikującym podatność mat były opady sztucznego deszczu (po 3 mm w pierwszym i drugim dniu suszenia). Z zależności przedstawionych na rysunku 39 wynika, że maty nie poddawane opadom deszczu i uformowane z materiału koszonego najpóźniej były najmniej podatne na zniszczenie. Umowny wskaźnik podatności wynosił około 310 mm.



Rys. 39. Wskaźnik podatności maty na zniszczenie (średnia dla lucerny i tymotki łąkowej) w zależności od terminu koszenia roślin i opadu sztucznego deszczu (Savoie i in. 1993b)

Fig. 39. Mat susceptibility index (averaged for alfalfa and timothy) to failure in relation to cutting date of plants and artificial rainfall (Savoie et al. 1993b)

Jest to wartość dwukrotnie wyższa w zestawieniu ze wskaźnikiem podatności maty uformowanej z materiału pochodzącego z pierwszego terminu koszenia. Nie wielkie opady deszczu na matę uformowaną z materiału pochodzącego z późniejszych terminu koszenia roślin spowodowały znaczne obniżenie ocenianego wskaźnika. Jego najwyższa wartość nie przekraczała 210 mm dla mat uformowanych z roślin koszonych 15 lipca. Wskaźniki podatności maty na zniszczenie określone przez Savoie i in. (1993b) mają znacznie wyższą wartość w zestawieniu z wynikami badań Shinnersa i in. (1987a). Różnice te wynikają z parametrów fizycznych materiałów z których zostały uformowane maty oraz z różnej gęstości tych mat. Gęstość mat w badaniach Savoie i in. (1993b) wynosiła od $13,5 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-3}$ do $21,9 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-3}$. Podane wielkości są nawet kilkadziesiąt razy mniejsze w porównaniu z wynikami Rissera i in. (1985) (od $160 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-3}$ do $294 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-3}$). Warto również zwrócić uwagę na grubość mat, które otrzymano w badaniach Savoie i in. (1993b). Była ona stosunkowo duża i zawierała się w zakresie od 38 mm do 60 mm. Podane wielkości są znacznie wyższe w zestawieniu z wynikami innych badań (Risser i in. 1985, Thylén i Sundberg 1994). Może to świadczyć o niskim ciśnieniu formowania maty i nieznacznym rozdrobnieniu zielonki (tab. 33).

Intensywna obróbka mechaniczna wilgotnego materiału roślinnego powoduje liczne uszkodzenia komórek, które sprzyjają uwalnianiu się z nich soków komórkowych. Część z nich może stanowić potencjalne źródło strat, gdyż wydzielana zawartość komórek roślinnych może znaleźć się poza paszą. Wyniki badań Savoie i Beauregarda (1991) wykazały, że ilość wydzielanego soku zależy od intensywności maceracji, wilgotności obrabianego materiału oraz gęstości powierzchniowej maty. Wzrostowi wartości ostatniego z wymienionych parametrów odpowiada mniejsza ilość wydzielanego soku (tab.33).

Dla masy $1,2 \text{ kg}$ metra kwadratowego maty straty soku wynosiły średnio $12,6\%$. Zmniejszenie wartości suchej masy 1 metra kwadratowego maty do $0,4 \text{ kg s.m.}\cdot\text{m}^{-2}$ spowodowało wzrost ilości wydzielanego soku do $16,35\%$. Ważnym wskaźnikiem oceny jakościowej soku jest skład chemiczny. Sok wydzielany z materiału najbardziej wilgotnego (około 84%) zawierał tylko $8,1\%$ suchej masy. Z zielonki nieznacznie mniej wilgotnej (na poziomie 80%) otrzymany sok zawierał prawie 11% suchej masy.

Z danych zamieszczonych w tabeli 34 wynika, że sucha masa soku jest bogata w białko (średnio $34,4\%$) i zawiera nieznaczne ilości włókna kwaśnego detergentowego (około $4,5\%$).

Warto również dodać, że sok wydzielony z intensywniej obrobionego materiału (dwukrotnie poddawany maceracji) charakteryzował się większą zawartością białka ($35,88\%$) niż uzyskany podczas jednokrotnej obróbki.

Tabela 33. Ilość wydzielonego soku z zielonki lucerny poddawanej maceracji i matowaniu (Savoie i Beauregard 1991)

Table 33. Quantity of juice extracted from alfalfa green fodder due to maceration and mat-making (Savoie and Beauregard 1991)

Gęstość pokosu (kg (s.m.)·m ⁻²) Swath density (kg (d.m.) m ⁻²)	Wilgotność Moisture (%)		Ilość soku Quantity of juice (%)	Sucha masa Dry matter (%)
	Przed matowaniem Before mat-making	Po matowaniu After mat-making		
24 lipiec ¹ , jednokrotna maceracja – 24 July ¹ , macerated once				
0,36	82,0	80,6	10,0	11,9
0,36	83,0	80,5	14,7	10,7
0,40	85,0	82,3	20,5	8,2
1,20	79,6	79,6	6,2	11,9
1,12	83,5	80,4	10,7	10,7
1,05	86,0	82,6	17,0	8,2
24 lipiec, dwukrotna maceracja – 24 July, macerated twice				
0,38	81,1	77,3	15,0	10,5
0,40	82,3	78,9	20,2	10,0
0,40	84,9	81,2	21,1	7,8
1,14	80,7	78,8	8,7	10,5
1,26	81,3	80,6	13,5	10,0
1,16	85,3	79,9	19,7	7,8
31 lipiec, jednokrotna maceracja – 31 July, macerated once				
0,46	76,9	75,5	10,8	11,7
0,46	79,9	78,0	12,0	9,0
0,45	82,8	80,1	23,7	8,8
1,36	77,1	75,9	7,4	11,7
1,26	81,3	79,5	7,7	9,0
1,25	83,3	79,8	14,5	8,8
31 lipiec, dwukrotna maceracja – 31 July, macerated twice				
0,43	78,5	77,3	11,2	9,5
0,46	79,8	77,1	13,5	8,3
0,45	82,5	77,9	25,5	7,4
1,18	78,9	77,5	8,6	9,5
1,30	80,8	78,3	15,1	8,3
1,22	83,6	79,8	21,7	7,5

¹ – data koszenia – cutting date.

Tabela 34. Skład chemiczny soku wydzielonego z zielonki lucerny poddanej maceracji i matowaniu (Savoie i Beauregard 1991)

Table 34. Chemical composition of juice extracted from alfalfa green fodder due to maceration and mat-making (Savoie and Beauregard 1991)

Data koszenia Cutting date	Wilgotność zielonki Green fodder moisture content (%)	Liczba maceracji Number of macerations	Zawartość składników (% s.m.) Ingredient content (% d.m.)				
			Białko surowe Crude protein	Włókno kwaśne detergentowe Acid detergent fibre	Ca	P	Mg
24 lipiec 24 th July	80	1	33,4	2,9	2,19	0,61	0,45
		2	36,9	5,5	2,03	0,57	0,41
	82	1	27,7	2,9	1,94	0,49	0,46
		2	36,5	3,6	2,01	0,53	0,43
	84	1	32,3	3,7	2,13	0,58	0,47
		2	35,1	5,0	2,12	0,58	0,42
31 lipiec 31 st July	80	1	34,6	3,2	–	0,58	–
		2	35,5	5,4	2,38	0,60	0,43
	82	1	33,8	3,9	2,36	0,57	0,44
		2	36,2	5,3	2,18	0,58	0,43
	84	1	35,3	5,3	2,24	0,62	0,42
		2	35,1	6,8	2,10	0,55	0,44

Savoie i Beauregard (1991) przeprowadzili symulację komputerową w celu określenia potencjalnych strat polowych suchej masy i wynikających z wydzielania soków podczas intensywnej obróbki zielonki z lucerny. Jako dane wyjściowe przyjęto trzy grupy czynników: plon (3, 4, 5 i 6 t s.m.·ha⁻¹), wilgotność początkową paszy (78%, 80%, 82% i 84%) stosunek szerokości formowanej maty do szerokości roboczej kosiarki (0,4, 0,6 i 0,8). Założono również, że intensywność obróbki mechanicznej skoszonych roślin będzie odpowiadać procesowi jednokrotnej maceracji, której poddawano materiał w warunkach stacjonarnych (zespół składający się z siedmiu karbowanych walców, odległość między współpracującymi walcami 0,5 mm, obroty walców 1250 obr·min⁻¹ i 1850 obr·min⁻¹). Dane zamieszczone w tabeli 35 w informują, że potencjalne straty suchej masy zielonki wynikające z wydzielania soków podczas maceracji wynoszą od 2,61 do 10,08% suchej substancji.

Tabela 35. Wyniki symulacji potencjalnej ilości wydzielanego soku z lucerny oraz strat suchej masy (jednokrotna maceracja, plon suchej masy 3 t·ha⁻¹) (Savoie i Beauregard 1991)

Table 35. Simulation results of potential juice extraction and dry matter losses (following one maceration pass, dry matter yield of alfalfa of 3 t ha⁻¹) (Savoie and Beauregard 1991)

Stosunek szerokości maty do szerokości roboczej kosiarki Windrow width to mower width ratio	Wilgotność początkowa Initial moisture content (%)	Ilość wydzielonego soku (kg s.m.·ha ⁻¹) Juice extracted, (kg d.m. ha ⁻¹)	Straty suchej masy Dry matter losses (%)
0,4	78	1,08	4,48
	80	1,61	5,72
	82	2,27	7,25
	84	3,08	9,14
0,6	78	1,26	5,10
	80	1,79	6,34
	82	2,45	7,87
	84	3,26	9,77
0,8	78	1,36	5,42
	80	1,88	6,65
	82	2,54	8,19
	84	3,35	10,08

Uwzględnienie zawartości białka w suchej masie soku z lucerny (34%) pozwala na oszacowanie ogólnych strat tego składnika paszy w odniesieniu do jednostkowej powierzchni łąki (pola). Wyniki symulacji prowadzonych przez Savoie i Beauregard (1991) wskazują, że straty białka mogą wynosić od 46 do 186 kg·ha⁻¹. Biorąc natomiast pod uwagę początkową zawartość białka w lucernie (18% – dla fazy pączkowania) oraz jego ilość w wydzielanym soku (od 8,5 do 17,2%) to materiał uformowany w matę powinien zawierać od 17,3 do 16,4% białka.

5.1.2. Modele matematyczne strat

Wyniki wielu badań nad oceną strat powodowanych koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną pozwoliły na określenie głównych czynników decydujących o ich wielkości. Rotz i Muck (1994) opracował model matematyczny strat, który uwzględnia rodzaj i stadium rozwoju ścinianych roślin, stopień ulistnienia gruboładogowych roślin motylkowych oraz typ zespołu tnącego i kondycjonującego.

Postać modelu jest następująca:

$$S_k = 0,6f_m(1 + 2f_l)f_s \quad (54)$$

gdzie:

- S_k – straty suchej masy powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną (%),
- f_m – współczynnik związany z rodzajem kosiarki (0,5 dla kosiarek nożycowych oraz rotacyjnych o pionowej osi obrotu, które nie są wyposażane w zespoły kondycjonujące; 1 – dla wyżej wymienionych typów kosiarek, ale wyposażonych w zgniatacze pokosów lub bijakowe zespoły kondycjonujące do delikatnej obróbki mechanicznej; 2 – dla kosiarek bijakowych lub innego rodzaju maszyn wyposażonych w bijakowy zespół kondycjonujący do intensywnej obróbki roślin,
- f_l – współczynnik określający stopień ulistnienia roślin motylkowych grubołodowych (udział suchej masy liści w ogólnym plonie suchej masy),
- f_s – współczynnik uwzględniający fazę rozwoju koszonych roślin (1 - dla roślin grubołodowych ścinanych od wczesnej do późnej fazy rozwoju wegetatywnego oraz kłoszenia się traw, 2 – od wczesnej do środkowej fazy kwitnienia grubołodowych oraz w pełni kłoszenia się traw, 3 – w pełni kwitnienia dla lucerny i pełni kwitnienia traw.

Straty mierzone przez Koegela i innych (1985b) oraz Shinnersa i in. (1992) są w przybliżeniu zgodne z szacowanymi na podstawie równania (54). Jednak są znacznie wyższe w zestawieniu z wynikami Savoie i innych (233). Różnice te mogą wynikać ze sposobu określania strat. Savoie i inni (233) uznawali za straty powodowane koszeniem tylko te części roślin, które zebrano ręcznie z miejsca po delikatnie odwróconym pokosie. Drobne części roślin znajdujące się w odwróconym pokosie nie stanowią zatem strat wynikających z oddziaływania zespołów roboczych kosiarek.

Modele matematyczne opracowane przez Napieraja (1990) określają straty mechaniczne powodowane wirnikowym zespołem kondycjonującym wyposażonym w różne elementy robocze (stalowe w kształcie litery V i U oraz w postaci pędzelków z tworzywa sztucznego). Modele te (rys. 36, równania 51, 52, 53) są funkcją drugiego stopnia, a zmienną niezależną jest tylko prędkość obwodowa końców elementów roboczych. Podany model odnosi się tylko do materiału zbie-

ranego w fazie od pączkowania do pełnego kwitnienia, którego wilgotność zawiera się w przedziale 73,3% -80,8%.

Zabiegi związane z koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną powodują zmianę wartości pokarmowej zebranej paszy, a zwłaszcza takich roślin jak lucerna, która charakteryzuje się dużym ulistnieniem. Tracone części roślin zawierają zwykle dużo białka, a w pozostałych zebranych częściach znajduje się zbyt dużo węglowodanów strukturalnych. Buckmaster i in. (1990) proponuje równanie opisujące zawartość wymienionych składników pokarmowych w zebranych materiale w funkcji początkowej ich zawartości, strat suchej masy, udziału suchej masy liści w plonie biologicznym. Jego postać jest następująca:

$$C_f = \frac{(f_l - 0,01R_l S_k)C_l + (1 - f_l - 0,01S_k + 0,01R_l S_k)C_s}{1 - 0,01S_k} \quad (55)$$

gdzie: C_f – zawartość białka ogólnego (włókna surowego) w suchej masie materiału skoszonego i poddanego wstępnej obróbce mechanicznej (% s.m.),

f_l – udział suchej masy liści w suchej masie plonu biologicznego roślin (powyżej wysokości koszenia),

R_l – udział suchej masy liści w suchej masie strat powodowanych koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną (wynosi on 0,75 dla lucerny),

S_k – straty suchej masy powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną (%),

C_l – udział białka ogólnego (włókna surowego) w suchej masie liści,

C_s – udział białka ogólnego (włókna surowego) w suchej masie łądyg.

Dla wszystkich traw łąkowych przyjmuje się, że wartość f_l oraz R_l jest zerem, czyli nie następuje zmiana zawartości białka i włókna w materiale poddanym koszeniu lub koszeniu połączonym ze wstępną obróbką mechaniczną.

Modele matematyczne strat ścierniskowych opracowane przez Marszałka (1993) mają postać funkcji potęgowej dla przypadku, gdy zmienną niezależną jest prędkość obwodowa noży (bijaków). Proponowane zależności odnoszą się do określonych warunków koszenia lucerny lub trawy. Wybrane postacie funkcji przedstawiają równania 56-59. Straty przy koszeniu lucerny (plon – 25,1 t·ha⁻¹, zagęszczenie roślin – 720 szt·m⁻², wilgotność - 76,9%) kosiarką bijakową wyposażoną w noże płaskie są następujące:

– dla prędkości roboczej 6,5 km·h⁻¹

$$S_s = 43,08(V_n - 15)^{-0,826} \quad (56)$$

- dla prędkości roboczej 2 km·h⁻¹

$$S_s = 1,25 \cdot 10^4 \cdot V_n^{-2,654} \quad (57)$$

Straty ścierniskowe wynikające z koszenia traw (plon – 15,3 t·ha⁻¹, zagęszczenie roślin – 6270 szt·m⁻², wilgotność 74,6%) kosiarką bijakową z nożami płaskimi wyrażono równaniami:

- dla prędkości roboczej 3,5 km·h⁻¹

$$S_s = 6,393 \cdot 10^{33} (V_n + 100)^{-15,679} - 2 \quad (58)$$

- dla prędkości roboczej 2 km·h⁻¹

$$S_s = 1,091 \cdot 10^{15} \cdot (V_n + 100)^{-6,609} - 10 \quad (59)$$

Równania strat ścierniskowych opracowanych przez Marszałka (1993) dla kosiarek rotacyjnych o pionowej osi obrotu nie pozwalają na dokładne opisanie modelowanego procesu, gdyż nie uwzględniają ilości noży przypadających na jednostkę szerokości roboczej maszyny i czynnej długości noża. Są to wielkości niezwykle istotne dla oceny pracy tych maszyn pod względem jakości i wydajności (Nowak 2002b, 2003).

Do określania strat związanych z koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną pasz łądowych nie ma nadal jednoznacznie sprecyzowanej metodyki badań. Duża dowolność w definiowaniu tego typu strat mechanicznych determinuje sposoby ich pomiaru i uniemożliwia porównywanie wyników badań. Zbyt intensywna obróbka mechaniczna skoszonych roślin (maceracja) okazała się zabiegiem, który nie znalazł zastosowania w praktyce rolniczej. Nawet formowanie maty z rozdrobnionej zielonki nie dało oczekiwanych rezultatów, gdyż jej podatność na zniszczenie była zbyt duża, aby można było ją „zebrać” podbieraczem maszyn zbierających (Nowak 2002b, 2003). Opracowane konstrukcje samojezdnych maszyn do koszenia i intensywnej obróbki zielonki, którą pozostawiano na łące (polu) w formie mat były szybko zmieniane. Kierunek zmian polegał na zmniejszaniu intensywności obróbki i zwiększaniu wydajności. Efektem tych prac była samojezdna maszyna, której funkcjonowanie jest w dużej mierze zbieżne z zasadą pracy kosiarki wyposażonej w zespół walców zgniatających.

Niektóre modele matematyczne strat powodowanych koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną uwzględniają: rodzaj stosowanej kosiarki wraz z typem zespołów kondycjonujących, rodzaj koszonych roślin i stopień ich ulistnienia oraz

fazę rozwoju wegetacyjnego. Modele opracowane na podstawie wyników badań krajowych (Marszałek 1993, Napieraj 1990) mogą być stosowane w ograniczonym zakresie, gdyż odnoszą się tylko do określonych warunków.

5.2. Straty powodowane roztrząsaniem, przetrząsaniem i zgrabianiem

Produkcja siana związana jest z występowaniem strat składników pokarmowych, których wielkość zależy między innymi od czasu przebywania skoszonych roślin na polu, rodzaju i wilgotności obrabianego materiału, częstotliwości prowadzonych zabiegów oraz parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych stosowanych maszyn. Skracanie czasu polowego suszenia roślin może być realizowane dwoma sposobami (Akkharath i in. 1996, Dervedde i Honig 1979, Frick 2002, Frick i Ammann 1999). Pierwszy z nich polega na zniszczeniu zewnętrznej struktury liści i łodyg, dzięki czemu zawarta w nich woda jest łatwiej usuwana pod wpływem otaczającego powietrza. Drugi sposób związany jest z oddziaływaniem na obrabianą masę roślinną w taki sposób, aby do poszczególnych źdźbeł miały ułatwiony dostęp promienie słoneczne i otaczające powietrze (Ciotti i Cavallero 1979, Dervedde i Honig 1979, Johnson i in. 1984, Kjelgaard i in. 1981, Savoie i Beaugard 1990).

O ocenie maszyn i urządzeń zwiększających wysychanie skoszonych roślin decydują głównie szybkość schnięcia oraz wielkość ponoszonych strat mechanicznych (Murdoch i Bare 1963, Rotz i in. 1993, Rotz i Savoie 1990, Savoie 1988, Savoie i in. 1996). Jeśli w wyniku oddziaływania zespołów roboczych danego typu maszyn (zgniatacze, przetrząsaczo-zgrabiarki) proces suszenia następuje stosunkowo szybko, to straty składników pokarmowych są zwykle wysokie. Najbardziej jest to widoczne podczas obróbki roślin gruboładogowych, które charakteryzują się nierównomiernym wysychaniem (Barrington i Bruhn 1970, Ciotti i Cavallero 1979, Overvest 1979, Savoie i in. 1982). Mocno wysuszone drobne części roślin (a zwłaszcza liście) są bardzo podatne na uszkodzenia mechaniczne powodowane elementami roboczymi maszyn stosowanych podczas przetrząsania, odwracania pokosów i zgrabiania paszy w wały (McGechan 1988, Robertson 1983, Schukking i Overvest 1979).

5.2.1. Właściwości mechaniczne liści traw

Właściwości mechaniczne liści traw *Lolium perenne* i *Phleum pratense* (roślin stanowiących często istotny składnik runi trwałych i przemiannych użytków zielonych) były przedmiotem badań Vincenta (1983, 1990). Moduł sprężystości E określono na podstawie krzywej naprężenie – odkształcenie. Do badań użyto próbek bez karbów. W przypadku badania podatności na kruche pękanie, liście traw były nacinane na obu brzegach żyłką. Długość nacięć ($a/2$) mierzono przy po-

mocy mikroskopu i wyrażono w postaci a/W , gdzie W oznacza szerokość liścia. Do badań wykorzystano próbki spełniające warunek $a/W < 0,2$.

Na podstawie powyższych wyników wyznaczono dwa dalsze parametry – intensywność naprężeń (K) i krytyczną intensywność naprężeń (K_c), która określa odporność na zniszczenie (Dyląg i in. 1999, Neimitz 1998):

$$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot a} \cdot F(a/W) \quad (60)$$

gdzie: σ – naprężenia,
 a – szerokość szczeliny (cm),
 W – szerokość liścia (cm),
 $F(a/W)$ – funkcja bezwymiarowych argumentów charakteryzująca geometrię próbki.

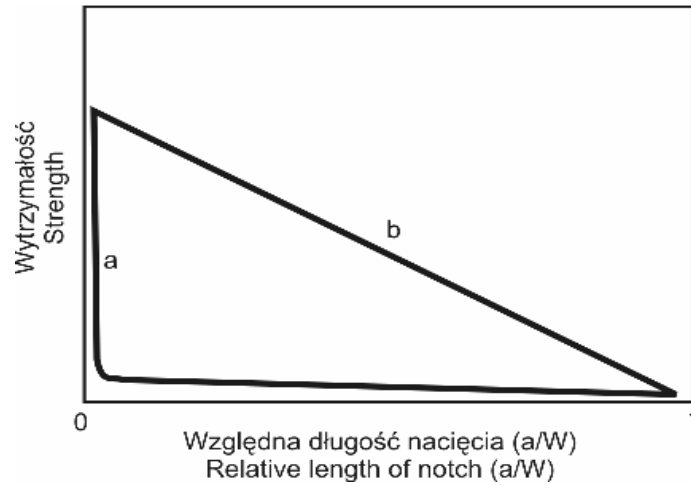
$$F(a/W) = \frac{[1,122 - 0,561(a/W) - 0,015(a/W)^2 + 0,091(a/W)^3]}{\sqrt{1 - (a/W)}} \quad (61)$$

$$K_c^2 = \frac{ER}{1 - \nu^2} \quad (62)$$

gdzie: E – moduł sprężystości podłużnej,
 ν – współczynnik Poissona,
 R – energia właściwa propagacji szczeliny zwana również prędkością uwalniania energii sprężystej.

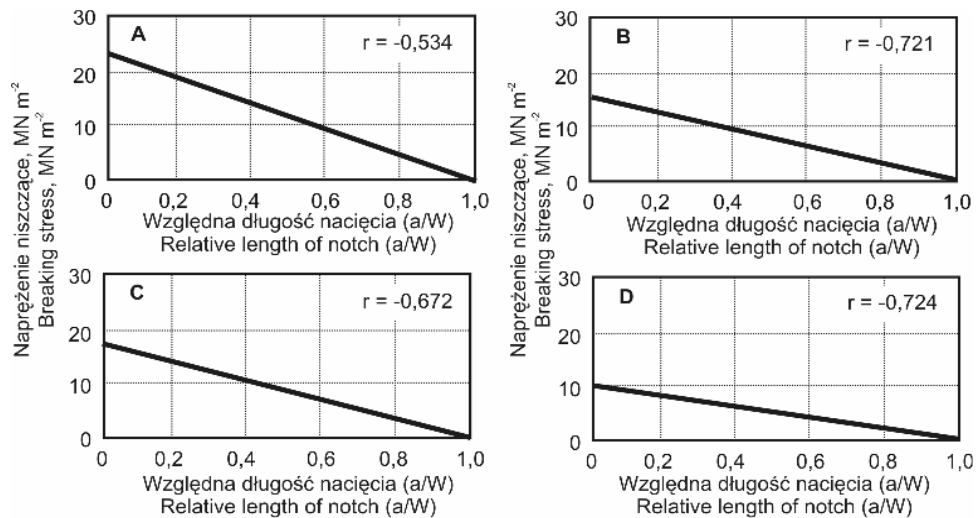
Z zależności przedstawionych na rysunku 40 wynika, że dla materiałów wrażliwych na uszkodzenia (np. szkło) niewielkie mikropęknięcia powodują gwałtowne obniżenie właściwości.

Z chwilą pojawienia się niewielkiej szczeliny następuje gwałtowne jej rozszerzenie się, które prowadzi do całkowitej utraty spójności i zniszczenia. W przypadku materiałów nieczułych na mikropęknięcia moduł sprężystości zmienia się znacznie wolniej (liniowo w całym zakresie) w funkcji tego pęknięcia. Wyniki badań wykazały, że liście wymienionych gatunków traw można traktować jako materiał nieczuły na mikropęknięcia, jeśli jego wilgotność przekracza 20% (rys. 41). Poniżej tej wilgotności liście zachowują się jak materiał kruchy. Komórki znajdujące się pomiędzy włókienkami są wtedy bardzo wrażliwe na mikropęknięcia, co decyduje o propagacji pęknięć w całym liściu. Liście o wilgotności poniżej 14% są narażone na duże straty mechaniczne podczas operacji przetrząsania, zgrabiania, zbioru.



Rys. 40. Wpływ względnej długości nacięcia (karbu) na naprężenia (Vincent 1983): a – dla materiału czułego na mikropeknięcia, b – dla materiału nieczułego na mikropeknięcia

Fig. 40. Effect of relative length of notch on the strength of a material (Vincent 1983): a – for notch sensitive material, b – for notch insensitive material



Rys. 41. Zależność naprężeń niszczących liście traw w funkcji względnej długości nacięcia dla czterech poziomów wilgotności (a – 0-33%, b – 34-50%, c – 51-66%, d – 67-75%) (Vincent 1983)

Fig. 41. Relationship between breaking strength of grass leaves and relative notch length at four levels of water content (a – 0-33%, b – 34-50%, c – 51-66%, d – 67-75%) (Vincent 1983)

5.2.2 Czynniki decydujące o stratach

Badania prowadzone przez Overvesta (1979), Rotza i Abramsa (1988), Savoie'a i in. (1982) dotyczyły wpływu rodzaju stosowanych zabiegów mechanicznych przyspieszających połowe suszenie lucerny na szybkość suszenia oraz ilościowe i jakościowe straty suchej masy obrabianego materiału. Z zależności przedstawionych w tabelach 36 i 37 wynika, że kosiarko-zgniatacze istotnie przyczyniają się do szybszego wysychania skoszonej zielonki.

Z porównania wartości końcowej wilgotności materiału koszonego maszynami o odmiennych zespołach tnących wynika, że różnice pomiędzy nimi okazały się istotne bez względu na rodzaj prowadzenia dalszych zabiegów. Różnice te wynikają przede wszystkim z różnych szerokości formowanych pokosów (kosiarka nożycowa McCormik International Harvester 1-1,55 m, kosiarka rotacyjna Fahr KM24 – 0,91 m). Powyższe informacje dotyczą tylko kosiarek, które nie są wyposażone w dodatkowe zespoły. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że końcowa wilgotność lucerny z drugiego pokosu jest znacznie niższa w porównaniu z materiałem pochodzącym z pierwszego pokosu. Różnice te są wynikiem znacznie mniejszego plonu lucerny z drugiego pokosu ($2350 \text{ kg s.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$), który stanowił zaledwie 48% suchej masy plonu pierwszego pokosu.

Mając na uwadze ocenę efektów agrotechnicznych stosowania dalszych zabiegów przyspieszających proces suszenia, należy stwierdzić, że najbardziej skutecznym zabiegiem okazało się stosowanie kondycjonera ze stalowymi walcami (Cunningham Hay Conditioner), którego działanie polega na zgniataniu i łamaniu ściętych roślin. Nieco mniej skuteczną maszyną okazał się przetrząsacz karuzelowy Fahr KH 500 AS. Należy jednak podkreślić, że proces suszenia materiału poddawanego działaniu wyżej wymienionych maszyn jest znacznie przyspieszony w porównaniu z suszeniem roślin ścinanych kosiarką bez zespołu kondycjonującego (grupa kontrolna). Z porównania wpływu typu stosowanych zgrabiarek wynika, że różnice w szybkości suszenia materiału uformowanego w wały okazały się istotne.

Stosunkowo duże straty powstające przy zgrabiarce karuzelowej Fahr KS85AS są powodowane dużą prędkością obwodową palców. Powoduje to znaczne wykruszanie delikatnych części roślin, które najszybciej ulegają wysuszeniu. W związku z tym, że straty mechaniczne określane przy drugim pokosie stanowią całkowite straty będące wynikiem kolejnych zabiegów to wartość tych strat jest wysoka. Materiał wilgotny poddawany zabiegom (zgniatanie, przetrząsanie), jest w małym stopniu narażony na oddzielanie drobnych i delikatnych części roślin. Natomiast zgrabianie materiału bardziej wysuszonego powoduje powstawanie dużych strat mechanicznych, których najwyższa wartość osiągnęła nawet 10% (kosiarka rotacyjna Fahr KM 24, zgrabiarca karuzelowa Fahr KS 85 AS). Powyższe obserwacje nie w pełni odzwierciedlają stan faktyczny strat ponoszonych w produkcji siana z lucerny, gdyż nie jest uwzględniana jakość paszy.

Tabela 37. Wpływ zabiegów mechanicznych na wilgotność końcową i straty suchej masy lucerny pierwszego pokosu po 3-4 dniowym suszeniu polowym (Savoie i in. 1982)

Table 37. Effect of mechanical treatments on final moisture and dry matter losses of first alfalfa cut after 3-4 days of field drying (Savoie *et al.* 1982)

Maszyna i rodzaj zabiegów Machine and kind of treatments used	Wilgotność – Moisture (%)		Straty suchej masy Dry matter losses (%)
	Zgrabiarka bębnowa NH Rolabar 258 Parallel-bar rake NH Rolabar 258	Zgrabiarka karuzelowa Fahr KS 85 AS Rotary rake Fahr KS 85 AS	
Kosiarka nożycowa McCormik IH 100 – Cuttebar mower, McCormik IH 100			
Materiał niekondycjonowany Unconditioned material	41,5	41,9	0,19
Kondycjoner walcowy (Cunningham) Roll conditioner (Cunningham)	32,6	28,1	0,52
Przetrzęsacz karuzelowy Fahr KH 500 AS Rotary tedder, Fahr KH 500 AS	40,5	36,1	0,54
Kosiarka rotacyjna Fahr KM 24 – Rotary drum mower, Fahr KM 24			
Materiał niekondycjonowany Unconditioned material	56,1	46,9	0,14
Kondycjoner walcowy (Cunningham) Roll conditioner (Cunningham)	37,4	30,6	0,44
Przetrzęsacz karuzelowy Fahr KH 500 AS Rotary tedder, Fahr KH 500 AS	46,4	48,1	0,39
Kosiarka rotacyjna z dwoma walcami zgniatającymi MF 725 Rotary mower with two crushing rolls, MF 725			
Materiał niekondycjonowany dodatkowo Unconditioned material further	36,0	36,2	0,41
Kondycjoner walcowy (Cunningham) Roll conditioner (Cunningham)	27,0	24,3	0,94
Przetrzęsacz karuzelowy Fahr KH 500 AS Rotary tedder, Fahr KH 500 AS	30,0	30,4	0,73
Kosiarka rotacyjna z bijakowym kondycjonerem Fahr KM 24 CR Rotary mower with flail-type conditioner, Fahr KM 24 CR			
Materiał niekondycjonowany dodatkowo Unconditioned material further	34,9	37,5	0,48
Kondycjoner walcowy (Cunningham) Roll conditioner (Cunningham)	22,5	31,9	0,66
Przetrzęsacz karuzelowy Fahr KH 500 AS Rotary tedder, Fahr KH 500 AS	36,3	31,4	0,57

Z badań Rotza, Sprotta i Thomasa (1984) wynika, że części roślin tracone w wyniku obróbki mechanicznej charakteryzują się wysoką wartością pokarmową (tab. 38). Materiał tracony podczas pierwszego przetrząsania charakteryzuje się najwyższą strawnością suchej masy i zawiera najwięcej białka ogólnego.

Tabela 38. Ocena jakościowa strat mechanicznych w produkcji siana z lucerny w porównaniu z materiałem nie koszonym (Rotz i Abrams 1988)

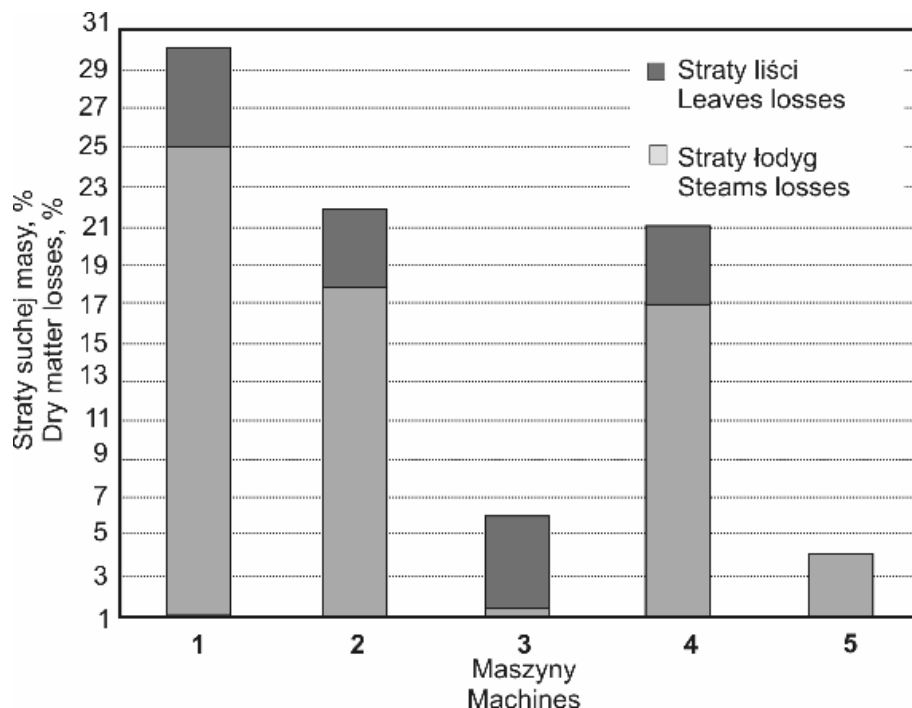
Table 38. Quality assessment of mechanical losses of alfalfa hay compared with uncut material (Rotz and Abrams 1988)

Wyszczególnienie Item	Strawność <i>in vitro</i> (% s.m.) <i>In vitro</i> digestibility (% d.m.)	Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	N- nierozpuszczalny (% N-ogólnego) Insoluble N, (% of N total)	Włókno neutralne detergentowe (% s.m.) Neutral detergent fibre (% d.m.)	Lignina (% s.m.) Lignin (% d.m.)
Materiał nie koszony Uncut material	66,7	17,7	58,8	43,1	7,8
Straty I przetrząsania First tedding losses	69,6	20,6	64,2	40,5	6,1
Straty II przetrząsania Second tedding losses	66,2	19,6	66,2	44,5	7,8

Wyniki badań Savoie'a i Beauregarda (1990) wykazały, że straty mechaniczne powodowane koszeniem i dwukrotnym odwracaniem pokosów nie przekraczały 1,7% plonu suchej masy lucerny z tymotka łąkową (71% lucerny + 29% tymotki łąkowej). Średnie straty powodowane kosiarką kondycjonującą Vicon KM 281 (dolnonapędowa wyposażona w zazębające się walce gumowe, szerokość robocza 2,7 m) wynosiły 0,92%.

Podane wielkości strat są wielokrotnie mniejsze od strat, które zmierzył Frick (2002). Istotnym powodem tak znacznych rozpiętości uzyskanych wyników może być sposób pobierania prób. W doświadczeniu Savoie'a i Beauregarda (1990) za straty powodowane koszeniem i odwracaniem pokosów uznawano części roślin krótsze niż 20 cm, które zbierano ręcznie w miejscu delikatnie usuniętego (widłami) pokosu. Nie uwzględniono zatem drobnych części paszy zalegających pod pokosem i tych, które zostały na powierzchniach między pokosami.

Wyniki polskich badań (Kanafojski i Karwowski 1972) wykazały, że straty suchej masy powodowane przetrząsaniem i zgrabianiem lucerny mogą być bardzo wysokie. Informują o tym dane przedstawione na rysunku 42. Wynika z nich, że



Rys. 42. Straty suchej masy powodowane przetrząsaniem i zgrabianiem lucerny (Kanafojski i Karwowski 1972): 1 – przetrząsaczo-zgrabiarka bębnowa Vicon-Lely, 2 – przetrząsaczo-zgrabiarka karuzelowa Fahr, 3 – beznapędowa przetrząsaczo-zgrabiarka kołowo-palcowa, 4 – napędzana przetrząsaczo-zgrabiarka kołowo-palcowa, 5 – grupa kontrolna bez przetrząsania

Fig. 42. Dry matter losses caused by tedding and windrowing of alfalfa (Kanafojski and Karwowski 1972): 1 – Vicon-Lely parallel-bar rake-tedder, 2 – Fahr rotary rake-tedder, 3 – undriven finger-wheel rake-tedder, 4 – driven finger-wheel rake-tedder, 5 – control group without tedding

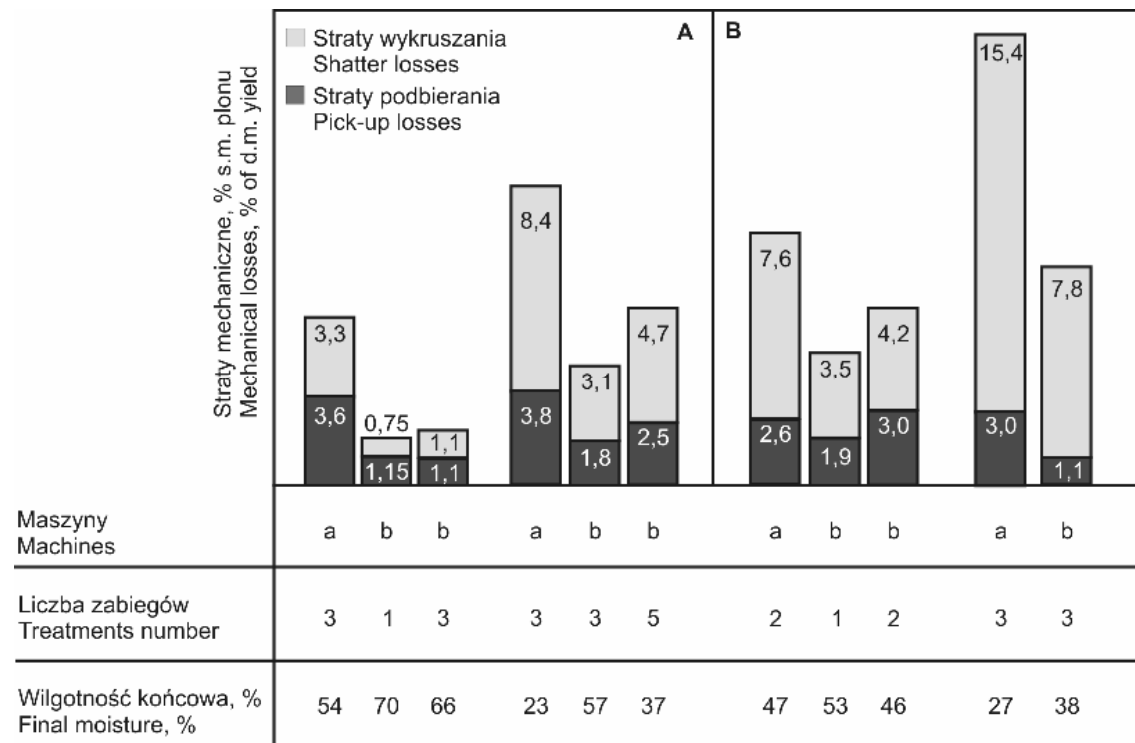
bębnowa przetrząsaczo-zgrabiarka firmy Vicon-Lely powodowała największe straty (prawie 30%) wśród których główną pozycję stanowiły najdrobniejsze części roślin. Było to wynikiem dużej prędkości obwodowej palców, która wynosiła $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Intensywne uderzanie palców o obrabiany materiał gruboładogowy powoduje oddzielenie się dużej ilości drobnych części. Warto jednak podkreślić, że niewielkie straty dotyczyły roztrząsania i zgrabiania maszyną beznapędową. Wynosiły one poniżej 6% plonu suchej masy. Niska wartość tych strat (a głównie najdrobniejszych części roślin) może wynikać również z dużej wilgotności materiału w czasie prowadzonych zabiegów mechanicznych. Wilgotność paszy podczas zgrabiania wynosiła w tym przypadku około 50% (prawie 9 punktów procentowych wyższa od wilgotności paszy, którą zgrabiano maszyną bębnową firmy Vicon-Lely).

W badaniach Fricka i Ammanna (2000) oceniano straty powodowane przez zabiegi przyśpieszające suszenie. Porównywano straty mechaniczne wynikające z przetrząsania i odwracania pokosów uformowanych z mieszanki traw łąkowych z koniczyną (50% + 50%) oraz lucerny z dwudziestoprocentowym udziałem rajgrasu.

Do ścinania roślin stosowano kosiarkę rotacyjną z parą walców kondycjonujących (szerokość robocza 2,4 m). Z zależności przedstawionych na rysunku 43 wynika, że straty powodowane trzykrotnym przetrząsaniem lucerny były bardzo wysokie. Wynosiły 18,4% plonu suchej masy. Jest to wartość prawie dwukrotnie wyższa od strat powodowanych trzykrotnym odwracaniem pokosów maszyną firmy kanadyjskiej Dion. Głównym składnikiem tych strat były drobne części roślin. Znacznie mniejsze straty wynikały z obróbki materiału, w składzie którego było 50% traw łąkowych. Trawy te przeznaczano na produkcję siana ze sztucznym dosuszaniem. Tradycyjne zabiegi (przetrząsanie) powodowały jednak znacznie większe straty mechaniczne niż nawet pięciokrotne odwracanie pokosów.

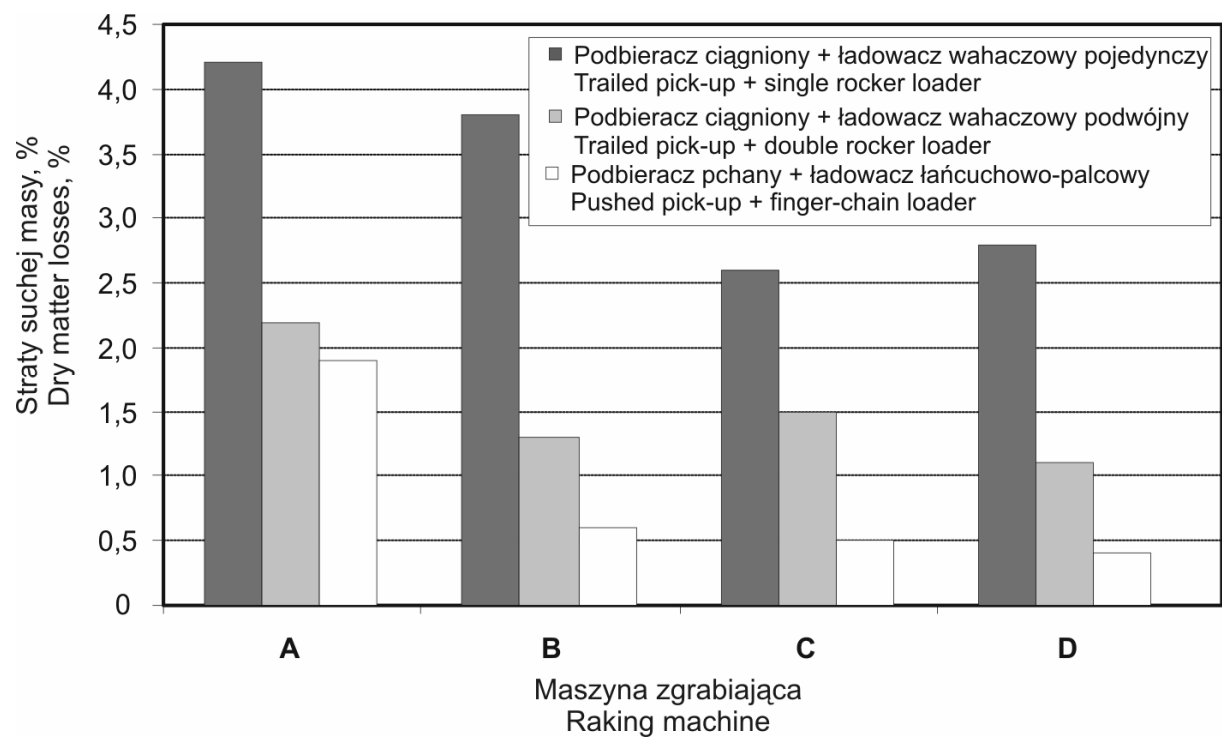
Bengtsson (1983) oceniał sumę strat suchej masy powodowanych zgrabieniem i zbiorem siana. Badaniami objęto zestawy maszyn, w skład, których wchodziły różnego typu zgrabiarki oraz przyczepy zbierające wyposażane w podbieracz ciągniony lub pchany. Z danych przedstawionych na rysunku 44 wynika, że największe straty suchej masy odnosiły się do wariantu z zastosowaniem przetrząsaczo-zgrabiarki pasowo-palcowej i przyczepy zbierającej wyposażonej w podbieracz ciągniony, który współpracował z ładowaczem wahaczowym pojedynczym. Wynosiły one 4,2% i były ponad dziesięciokrotnie wyższe od strat wynikających ze zgrabiania przetrząsaczo-zgrabiarką kołowo-palcową i zbierania przyczepą wyposażoną w podbieracz pchany. Warto również dodać, że współpraca podbieracza ciągnionego z ładowaczem wahaczowym podwójnym wpłynęła na znaczne ograniczenie strat w porównaniu do wariantu najmniej korzystnego.

Przedstawione na rysunku 44 wyniki, które uzyskano na poletkach doświadczalnych są znacznie niższe od rezultatów pochodzących z praktyki rolniczej (badaniami objęto 16 gospodarstw, okres prowadzenia badań od 9 czerwca do 15 lipca 1982 roku, korzystne warunki polowego suszenia zielonek). W warunkach produkcyjnych oceniane straty przekraczały 11%. Odnosiły się one przeważnie do wariantów technologicznych, w których maszyną stosowaną do formowania wałów z siana była przetrząsaczo-zgrabiarka pasowo-palcowa. Niestarannie uformowane wały o dużej szerokości były istotną przyczyną strat związanych z pracą podbieracza ciągnionego przyczep zbierających. Materiał pozostawiony na łące, który znajdował się poza zasięgiem podbieracza stanowił nawet 5,4% zebranej masy siana. Nierówna powierzchnia łąki oraz wysokie ustawienie podbieracza ze względu na ochronę ścierniska po jednorocznej runi łąkowej były także istotnymi czynnikami zwiększającymi straty.



Rys. 43. Straty suchej masy powodowane przetrząsaniem i zgrabianiem (Kanafojski i Karwowski 1972): A – trawa łąkowa z 50% udziałem koniczyny, B – lucerna z 20% udziałem rajgrasu, a – przetrząsacz karuzelowy + zgrabiarka karuzelowa, b – odwracacz pokosów

Fig. 43. Dry matter losses caused by tedding and windrowing of alfalfa (Kanafojski and Karwowski 1972): A – meadow grass with 50% of clover, B – alfalfa with 20% of ryegrass, a – rotary tedder + rotary rake, b – swath inverter



Rys. 44. Średnia wartość strat suchej masy (wyniki badań z lat 1980 i 1981) w zależności od typu stosowanej zgrabiarzki i rodzaju podbieracza przyczepy zbierającej (Bengtsson 1983): A – przetrząsaczo-zgrabiarzka pasowo-palcowa, B – przetrząsaczo-zgrabiarzka bębnowa, C – zgrabiarzka karuzelowa, D – przetrząsaczo-zgrabiarzka kołowo-palcowa

Fig. 44. Mean value of dry losses (results obtained in 1980 and 1981) depending on the kind of windrower application and pick-up unit type of self-loading forage wagon (Bengtsson 1983): A – finger-belt rake-tedder, B – parallel-bar rake-tedder, C – rotary rake, D – finger-wheel rake-tedder

Wyniki badań prowadzonych w warunkach produkcyjnych wykazały, że najniższe straty suchej masy dotyczyły wariantów technologicznych z zastosowaniem zgrabiarek karuzelowych i pras zbierających (klasycznych i zwijających).

W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia opublikowano prace badawcze, które miały na celu określenie wpływu rodzaju stosowanej obróbki mechanicznej na szybkość suszenia oraz straty ilościowe i jakościowe paszy ułożonej w pokosy lub wały (Savoie i Beauregard 1991, Savoie i in. 1992, 1993a). Badania Shearer'a i in. (1992) odnosiły się do lucerny skoszonoj kosiarką dolnonapędową Ford New Holland 411 wyposażoną w walce zgniatające. Grupę kontrolną w tym doświadczeniu stanowił materiał uformowany w wąski wał (szerokość około 1 m) przez wymienioną wcześniej maszynę (szerokość robocza 2 m), który nie był poddawany dalszym zabiegom. Pozostałe grupy doświadczenia obejmowały odwracanie pokosów i wałów paszy, a także zgrabianie częściowo podsuszonego materiału w wały (do dalszego obniżania wilgotności). Z danych przedstawionych w tabeli 39 wynika, że w materiale suszonym zarejestrowano niekorzystne zmiany składu chemicznego. Zmniejszyła się zawartość białka ogólnego i nastąpił wzrost włókna kwaśnego detergentowego i włókna neutralnego detergentowego. Należy jednak dodać, że przeprowadzona analiza statystyczna wyników badań nie wykazała istotnych różnic pomiędzy ocenianymi wielkościami. Takie wnioskowanie oparto o analizę danych, które uzyskano po jednakowym czasie suszenia zielonek. Charakteryzowały się jednak zróżnicowaną zawartością suchej masy, a pasza nie poddawana zabiegom mechanicznym była najbardziej wilgotna.

Interesujący sposób określania strat związanych z przetrząsaniem materiału zaproponował Savoie (1988). W tym celu skonstruował laboratoryjną przetrząsarke, której elementem roboczym był wirnik z dwoma parami pałców (średnica zewnętrzna pałców 600 mm, prędkość obrotowa 579 obr min⁻¹). Wirnik ten umieszczono w drewnianej obudowie (średnica 760 mm, wysokość 410 mm). Materiał przebywał w zespole roboczym przez 1 sekundę. Odległość pomiędzy obudową a wirnikiem zapewniała tylko jednokrotne uderzenie pałców wirnika o materiał roślinny. Straty powodowane tym zabiegiem mechanicznym określano na podstawie masy części roślin, których długość była mniejsza niż 20 cm. Z zależności przedstawionych na rysunku 45 wynika, że rodzaj obrabianego materiału roślinnego oraz jego wilgotność mają bardzo znaczny wpływ na straty suchej masy. Wynosiły one około 1,5% podczas przetrząsania tymotki łąkowej (cv. Climax), której wilgotność przekraczała 40%. Obróbka tego rodzaju materiału o bardzo małej wilgotności (nie większej niż 10%) spowodowała straty znacznie wyższe (nawet 11%). Przetrząsaniu lucerny (cv. Saranac), której wilgotność nie przekraczała 10% odpowiadały bardzo duże straty suchej masy. Wynosiły one nawet ponad 50%.

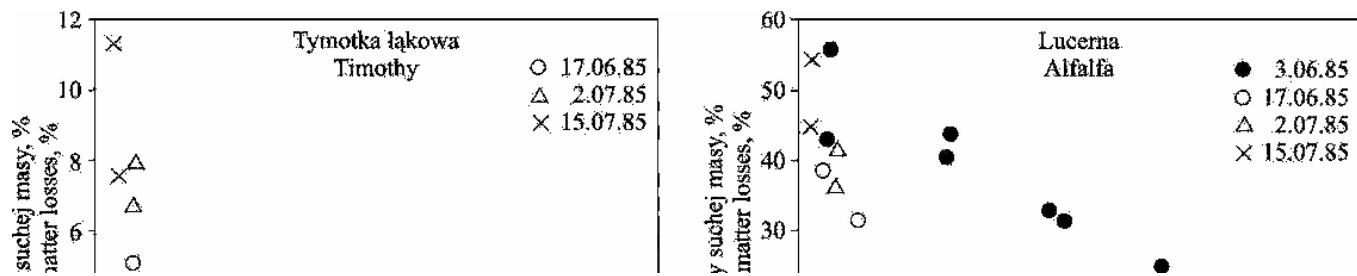
Tabela 39. Zmiana zawartości wybranych składników pokarmowych (punkty procentowe) w lucernie podczas polowego suszenia w zależności od rodzaju i terminu stosowania zabiegów mechanicznych (średnia z trzech lat doświadczeń, końcowa wilgotność siana poniżej 20%) (Shearer i in. 1992)

Table 39. Changes of selected nutrients content (points of percent) in alfalfa during field drying in relation to type and time of applied mechanical treatments (average of three years' data, final hay moisture content below 20%) (Shearer *et al.* 1992)

Stosowane maszyny i termin zabiegu Machines applied and treatment time	Białko ogólne Crude protein	Włókno kwaśne detergentowe Acid detergent fibre	Włókno neutralne detergentowe Neutral detergent fibre
Kosiarka dyskowa kondycjonująca FNH 411 (zielonka w formie wału o szerokości około 1 m) – grupa kontrolna Disc mower conditioner, FNH 411 (green fodder in a narrow windrow of 1 m width) – control group	-1,28	2,23	3,08
Kosiarka dyskowa kondycjonująca FNH 411 (zielonka w formie wału o szerokości około 1 m suszona do 60 % s.m.); odwracacz wałów FNH 144 (odwracanie wałów po osiągnięciu przez paszę 60% zawartości suchej masy) Disc mower conditioner, FNH 411 (green fodder in a narrow windrow of 1 m width dried to 60% dry matter content); windrow inverter, FNH 144 (windrow was inverted at 60% dry matter content)	-2,18	3,01	6,04
Kosiarka dyskowa kondycjonująca FNH 411 (zielonka na pokosie o szerokości 2 m); zgrabiarka bębnowa NH 258 (zgrabianie paszy w wały, której wilgotność wynosiła 40 %); dalsze dosuszanie w wałach Disc mower conditioner, FNH 411 (green fodder in a swath of 2 m width); side delivery raker, NH 258 (windrowing forage at 40% moisture content); further drying in the windrow	-2,27	3,56	5,11

Kosiarka dyskowa kondycjonująca FNH 411 (zielonka na pokosie o szerokości 2 m); odwracacz pokosów Keystone (odwracanie z jednoczesnym formowaniem wału po osiągnięciu przez paszę 60% zawartości suchej masy)	-2,26	3,70	4,70
Disc mower conditioner, FNH 411 (green fodder in a swath of 2 m width); Keystone swath inverter (inverting together with windrowing after the forage reached 60% dry matter content)			
Kosiarka dyskowa kondycjonująca FNH 411 (zielonka pozostawiona na pokosie o szerokości 2 m); odwracacz pokosów Keystone (odwracanie pokosów po osiągnięciu przez paszę 60% zawartości suchej masy, a następnie formowanie wałów maszyną Keystone z materiału o wilgotności około 25%)	-1,98	3,16	4,50
Disc mower conditioner, FNH 411 (green fodder in a swath of 2 m width); Keystone swath inverter (inverting of swath after the forage reached 60% dry matter content), and then windrowing of forage with Keystone inverter at 25% moisture content); further drying in the windrow			

Zwiększenie wilgotności obrabianej paszy powyżej 40% wpłynęło na zmniejszenie strat do około 7%. Ocena jakościowa strat wykazała, że przedstawiają one paszę wyższej jakości niż materiał poddany obróbce mechanicznej. Decyduje głównie o tym duży udział liści. Są one bogatsze w białko i zawierają mniej węglowodanów strukturalnych niż łądygi. Odnosi się to szczególnie do lucerny, której liście zawierały ponad dwukrotnie więcej białka w porównaniu do łądyg. Warto zwrócić uwagę na zawartość włókna kwaśnego detergentowego w ocenianych częściach roślin. Grube łądygi lucerny zawierały tego składnika nawet dwuipółkrotnie więcej niż liście. Nieznaczone natomiast różnice zawartości włókna kwaśnego detergentowego zaobserwowano w badanych częściach roślin tymotki łąkowej. Godnym podkreślenia jest fakt, że wysokiej zawartości suchej masy w materiale poddanym przetrząsaniu towarzyszy wysoki udział liści w stratach mechanicznych. Zmniejszenie wilgotności tymotki łąkowej wpłynęło na obniżenie zawartości liści w stratach. Jest to szczególnie widoczne na podstawie wyników badań uzyskanych na materiale, który został skoszony w stadium późnej wegetacji (15 lipca).



Rys. 45. Straty suchej masy tymotki łąkowej (*cv. Climax*) i lucerny (*cv.Saranac*) w funkcji wilgotności przetrzaskanego materiału dla kilku terminów koszenia (Savoie 1988)

Fig. 45. Dry matter losses of timothy (*cv. Climax*) and lucerne (*cv.Saranac*) as the function of moisture content in the tedded material for different cutting times (Savoie 1988)

Straty mechaniczne zawierały tylko 35% liści. Jest to wartość prawie dwukrotnie mniejsza w porównaniu do strat ocenianych podczas obróbki mechanicznej materiału, którego wilgotność wynosiła około 70%. Elastyczne łodygi tymotki łąkowej były wtedy w małym stopniu poddawane niszczącemu działaniu laboratoryjnej przetrząsarki. Główną pozycję strat mechanicznych stanowiły drobne części roślin, a przeważnie liście. Podobną zależność zaobserwowano podczas badań nad lucerną. Wraz ze wzrostem zawartości suchej masy w przetrzasanym materiale zwiększał się udział liści w stratach mechanicznych.

5.2.3. Modele matematyczne strat powodowanych roztrząsaniem, przetrząsaniem i zgrabianiem

McGechan (1989) opracował model strat wykruszania paszy składającej się z różnych traw łąkowych, które powstają podczas następujących operacji technologicznych: przetrząsanie roztrzągniętych pokosów, roztrząsanie paszy zgrabionej w wały, odwracanie wałów, zgrabianie roztrzągniętych pokosów, formowanie z co najmniej dwóch wałów w jeden większy wał, podbieranie paszy prasą lub siewkarnią zbierającą. Postać tego modelu jest następująca:

$$S_{wyk} = \begin{cases} g(0,6 + 0,25x), & m \geq 236 - D_z \\ g[0,6 + 0,25x + (1,42 - 0,02D_z)(236 - 3D_z - m)], & m < 236 - D_z \end{cases} \quad (63)$$

gdzie:

S_{wyk} – straty wykruszania (% s.m./operacja),

D_z – strawność substancji organicznej *in vitro* skoszonych roślin (% s.m.),

g – współczynnik uwzględniający rodzaj stosowanej operacji (wartość 1 dla przetrząsania roztrzęzionych pokosów i roztrząsania paszy zgrabionej w wały, wartość 0,5 dla pozostałych operacji),

x – współczynnik uwzględniający wstępną obróbkę mechaniczną (1 dla zielonki poddanej obróbce, 0 dla zielonki nie poddanej wstępnej obróbce mechanicznej).

Z zależności przedstawionych na rysunku 46 wynika, że straty wykruszania zależą tylko od rodzaju stosowanej obróbki, jeśli zawartość suchej masy w obrabianej paszy nie przekracza 59%. Po przekroczeniu 59% zawartości suchej masy straty zwiększają się wprost proporcjonalnie.

Inną postać tej funkcji proponuje Rotz (1995), który do budowy modelu matematycznego (strat powodowanych przetrząsaniem) posłużył się wynikami Honiga (1979) i Savoie (1988):

$$S_{przet} = 4,4(1 + 6f_l)(1 - 0,01m)^{1,5} \quad (64)$$

gdzie: f_l – udział suchej masy liści w plonie suchej masy roślin (powyżej wysokości koszenia).

Współczynnik f_l dla traw przyjmuje się 0, a dla lucerny zawiera się w zakresie od 0 do 0,7. Z zależności przedstawionych na rysunku 47 wynika, że oszacowane straty powodowane przetrząśaniem lucerny są około czterokrotnie wyższe w zestawieniu ze stratami traw łąkowych.

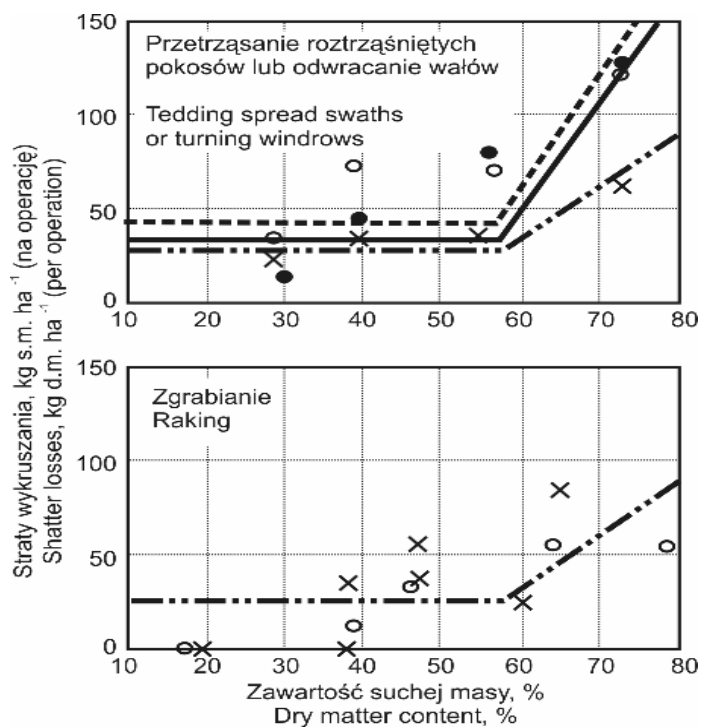
Wyniki badań Buckmastera (Buckmaster 1993) posłużyły do określania modelu strat (S_{zgr}) suchej masy lucerny pozostałej na polu po zgrabieniu plonu:

$$S_{zgr} = 18,8e^{-0,0002m} + 2,3i_z - 0,001P \quad (65)$$

gdzie: S_{zgr} – straty zgrabiania lucerny (% s.m./operacja),

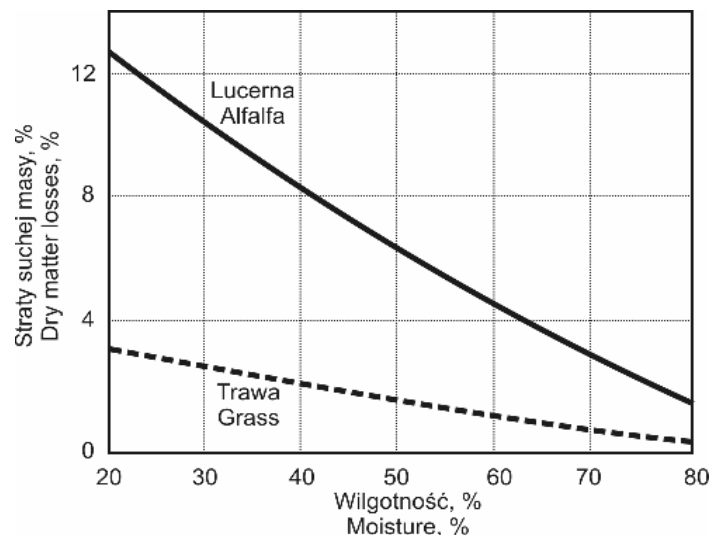
i_z – współczynnik uwzględniający rodzaj zgrabarki (1 dla zgrabarki kołowo-palcowej, 0 dla zgrabarki bębnowej),

P – plon suchej masy lucerny ($\text{kg s.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$).



Rys. 46. Straty wykruszania w zależności od zawartości suchej masy w obrabianym materiale z traw łąkowych (plon $5 \text{ t s.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$, $D_z = 65\%$) (Honig 1979): \times, \bullet, \circ – dane z doświadczeń Honiga, ———, - - - - -, - · - · - · - -, wg równania (55)

Fig. 46. Shatter losses in relation to dry matter content in the treated material from meadow grasses (yield $5 \text{ t d.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$, $D_z = 65\%$) (Honig 1979): \times, \bullet, \circ – experimental data obtained by Honig, ———, - - - - -, - · - · - · - -, according to equation (55)



Rys. 47. Straty suchej masy lucerny i trawy w zależności od wilgotności (Rotz 1995)

Fig. 47. Tedding losses of alfalfa and grass versus moisture content (Rotz 1995)

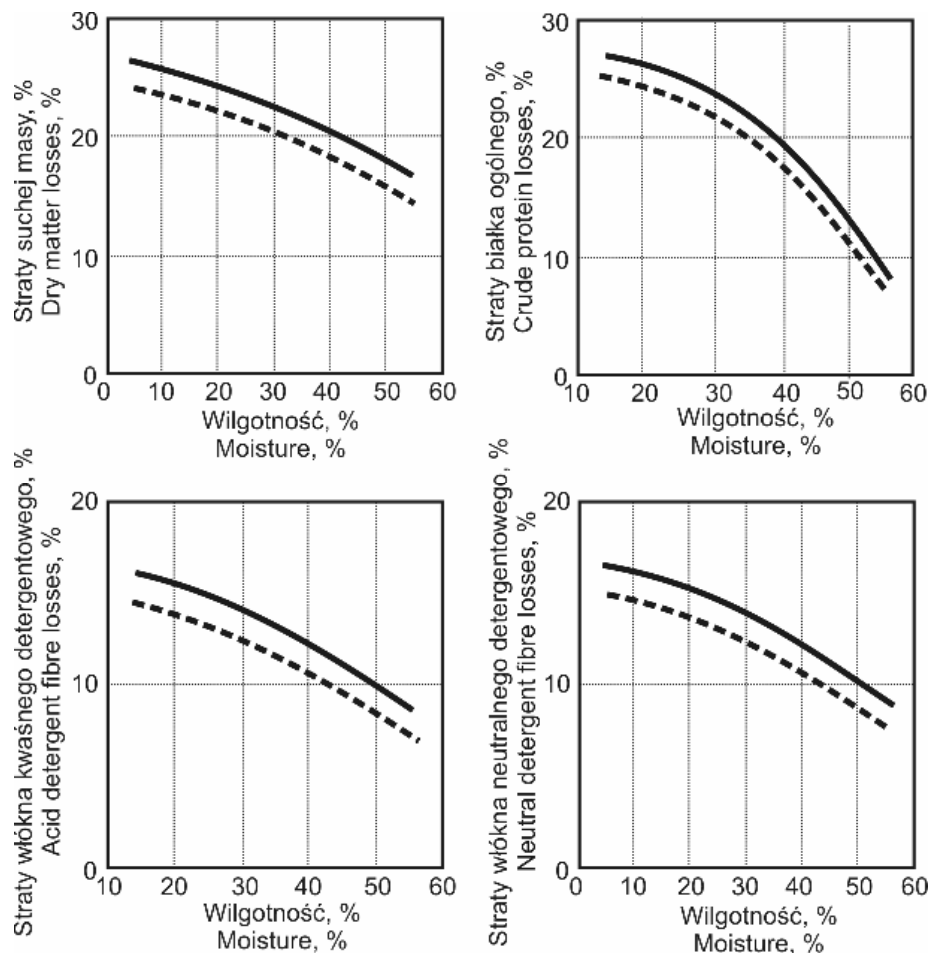
Z zależności przedstawionych na rysunku 48 wynika, że straty mechaniczne związane ze zgrabianiem paszy bardzo suchej (poniżej 20% wilgotności) były bardzo wysokie. Wynosiły one ponad 20%. Straty powodowane zgrabarką kołowo – palcową okazały się około 2,5% wyższe w zestawieniu ze stratami wynikającymi ze zgrabiania maszyną bębnową. W zestawieniu z wynikami innych badań oceniane straty były znacznie wyższe (Savoie i in. 1992).

Zdecydowały o tym głównie dwa czynniki. Pierwszy z nich odnosi się do sposobu określania strat. W doświadczeniu Buckmastera (1993) stosowano sztuczne ściernisko, a ten sposób zbioru zapewnia zebranie nawet najdrobniejszych części paszy. Poza tym w doświadczeniu (Buckmaster 1993) zaliczano straty koszenia i wstępnej obróbki do kategorii strat przetrząsania.

Na podstawie analizy jakościowej paszy poddawanej zgrabianiu oraz poziomu i jakości strat mechanicznych dokonano oceny strat białka ogólnego, włókna kwaśnego detergentowego i włókna neutralnego detergentowego. Z zależności przedstawionych na rysunku 48b wynika, że straty białka są bardzo wysokie (ponad 23%) jeśli wilgotność zgrabianej lucerny jest mniejsza niż 15%. Na podstawie wyników badań jakościowych Buckmaster (1993) opracował model strat białka ogólnego powodowanych zgrabianiem lucerny:

$$S_b = 42,7e^{-0,0005m} + 1,8i_z \quad (66)$$

gdzie: S_b oznacza straty białka ogólnego (%./operacja).



Rys. 48. Straty suchej masy lucerny, białka, włókna kwaśnego detergentowego i włókna neutralnego detergentowego powodowane zgrabianiem w zależności od wilgotności badanego materiału i rodzaju stosowanej zgrabiarki (Buckmaster 1993): — zgrabiarka kołowo-palcowa, - - - - zgrabiarka bębnowa

Fig. 48. Losses of dry matter, crude protein, acid detergent fibre and neutral detergent fibre caused by windrowing in relation to moisture content in lucerne and the windrower type (Buckmaster 1993): — finger-wheel rake, - - - - parallel-bar rake

Zmiennymi niezależnymi w tym modelu są wilgotność zgrabianej lucerny i rodzaj stosowanej zgrabiarki. Z zależności podanych na rysunku 48b wynika, że straty białka powstałe przy zastosowaniu zgrabiarki kołowo-palcowej są nieznacznie wyższe w zestawieniu ze stratami powodowanych maszyną bębnową

(około 1,5%). Natomiast straty włókna były znacznie mniejsze. Nie przekraczały one nawet 20%, jeśli wilgotność zgrabianej lucerny była bardzo niska.

Rotz i Savoie (1990) proponują model matematyczny strat mechanicznych powodowanych przetrząsaniem lucerny, który odnosi się tylko do wykruszonych części roślin. Nie uwzględnia on jednak stopnia ulistnienia paszy poddawanej zabiegowi. Postać tego modelu jest następująca:

$$S_{przet} = P_s (0,01 + 0,061e^{-0,052m}] \quad (67)$$

gdzie: S_{przet} – straty przetrząsania (kg s.m.·m⁻²),

P_s – plon suchej masy przetrzysanej lucerny (kg s.m.·m⁻²).

Podane równanie uzupełniono dwoma współczynnikami, które umożliwiają stosowanie go do określania strat powodowanych przetrząsaniem paszy składającej się z lucerny (z uwzględnieniem jej stopnia ulistnienia) i traw łąkowych:

$$S_{przet(m)} = S_{przet} f_l \alpha_l / \alpha_l^* \quad (68)$$

gdzie: $S_{przet(m)}$ – straty przetrząsania paszy składającej się z lucerny i traw łąkowych (kg s.m.·m⁻²),

f_l – udział suchej masy lucerny w materiale poddawanym przetrząsaniu,

α_l – udział suchej masy liści w lucernie,

α_l^* – średnia wartość udziału suchej masy liści w lucernie poddawanej badaniom przez Rotza i Savoie (1990), których wyniki posłużyły do opracowania równania (67); wartość ta wynosiła 0,45.

W tabeli 40 podano wartości α_l dla lucerny w zależności od fazy rozwoju rośliny i pokosu (Fulkerson i Winch 1963).

Równanie opracowane przez Rotza i Abramsa (1988) do określania strat mechanicznych powodowanych zgrabianiem lucerny (wilgotność w zakresie od 35 do 45%, prędkość robocza zgrabarki 5 km·h⁻¹) uwzględnia tylko plon suchej masy:

$$S_{zgr} = 60,26P^{-2,42} \quad (69)$$

gdzie: P – plon suchej masy lucerny (t s.m.·ha⁻¹).

Ponadto Rotz i Abrams (1988) opracowali model uwzględniający wilgotność zgrabianej lucerny:

$$S_{zgr} = 0,096P^{-2,42} m^{-2} \quad (70)$$

Model strat suchej masy powodowanych przetrząsaniem lucerny, który opracował Rotz (1995) na podstawie wyników badań Buckmastera (1993) i Honiga

(1979) uwzględnia ulistnienie, wilgotność oraz gęstość pokosu obrabianego materiału. Podany model odnosi się do strat powodowanych właściwie przystosowaną do pracy przetrząsaczo zgrabiarką bębnową:

$$S_{zgr} = \frac{(2 + 4f_l)(1 - m)^{1,5}}{\gamma} \quad (71)$$

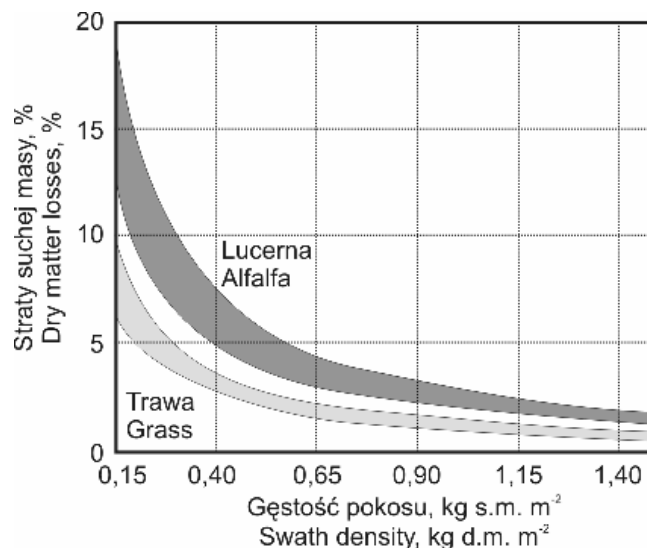
gdzie: f_l – udział suchej masy liści w suchej masie plonu (od 0 do 0,7).

Tabela 40. Udział suchej masy liści w plonie zielonki z lucerny (α_l) w zależności od fazy rozwoju i pokosu (Fulkerson i Winch 1963)

Table 40. Fraction of dry matter of leaves in green fodder yield of alfalfa in relation to growth stage and cut (Fulkerson and Winch 1963)

Faza rozwoju – Growth stage	Pokos – Cut	
	1	2 i/and 3
Wczesna wegetatywna – Early vegetative	0,70	0,75
Późna wegetatywna – Late vegetative	0,63	0,70
Wczesna pączkowania – Early bud	0,52	0,58
Środek pączkowania – Medium bud	0,46	0,52
Późna pączkowania – Late bud	0,45	0,50
Początek kwitnienia – Early flowering	0,43	0,48
Środek kwitnienia – Medium flowering	0,42	0,46
Pełnia kwitnienia – Full flowering	0,40	0,44
Wczesna generatywna – Early generative	0,36	0,40

Z zależności przedstawionych na rysunku 49 wynika, że straty suchej masy powodowane przetrząsaniem lucerny o małej gęstości pokosu mogą być bardzo wysokie, jeśli obrabiany materiał jest znacznie wysuszony. Wartości strat obliczone z równania (63) są niższe w zestawieniu z wynikami start uzyskanymi przez Rotza i Abramsa (1988). Różnice te są wynikiem przede wszystkim mało precyzyjnej metody pomiaru strat, która polegała na ręcznym zbieraniu materiału pozostawionego w miejscu obrobionego pokosu. W innych natomiast badaniach stosowano sztuczne ściernisko (Buckmaster 1993) oraz aspirator (Honig 1979), co przyczyniło się do dokładniejszego określania strat.



Rys. 49. Straty powodowane przetrząsaniem lucerny obliczone z równania (71) (Rotz 1995)
Fig. 49. Raking losses of alfalfa predicted by equation (71) (Rotz 1995)

Straty mechaniczne powodowane zabiegami mającymi na celu przyspieszenie połowego suszenia zielonek lub zgrabianiem w wały częściowo lub znacznie wysuszonej paszy mogą w dużej mierze decydować o jakości produktu końcowego. Zabiegi mechaniczne realizowane na materiale o małej wilgotności, który charakteryzuje się znaczną zawartością liści powodują duże straty ilościowe i jakościowe. Liście roślin stanowiących istotny składnik runi trwałych i przemiannych użytków zielonych, które zawierają nieznaczne ilości wody zalicza się do materiałów wrażliwych na uszkodzenia – niewielkie mikropęknięcia powodują gwałtowne obniżenie własności.

Laboratoryjne badania materiałów roślinnych dają jedynie pewne informacje o ich podatności na straty podczas zabiegów mechanicznych. Wyniki tych badań odnoszą się głównie do lucerny, której morfologia znacznie się różni od morfologii traw. Otrzymane rezultaty nie mogą być zatem odnoszone do materiału składającego się z traw.

Modele matematyczne strat mechanicznych powodowanych roztrząsaniem, przetrząsaniem, zgrabianiem, odwracaniem pokosów są zwykle funkcją jednej zmiennej, którą jest zawartość suchej masy w materiale poddawanym zabiegom. Model matematyczny strat wykruszania opracowany przez McGeachana (1989) stanowi funkcję dwuliniową. Z podanego zapisu funkcji wynika, że straty nie zmieniają się jeśli zawartość suchej masy w obrabianym materiale nie przekracza 59%.

Dokonany przegląd publikacji na temat strat powodowanych zabiegami mechanicznymi (roztrzaskanie, przetrząsanie, zgrabianie) wykazuje, że bezpośrednie porównywanie wyników badań jest utrudnione. Powodowane jest to często odmiennymi metodami określania strat i zróżnicowanymi warunkami prowadzenia badań. Wyniki doświadczeń polowych obejmują także straty, które powstają podczas koszenia i wstępnej obróbki skoszonych roślin.

5.3. Straty powodowane maszynami zbierającymi

W trakcie produkcji pasz objętościowych występują straty składników pokarmowych, których wielkość zależy między innymi od rodzaju i wilgotności obrabianego materiału, częstotliwości i intensywności prowadzonych zabiegów mechanicznych służących przyspieszaniu procesu suszenia zielonki oraz parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych maszyn zbierających.

Istotnym wskaźnikiem oceny pracy maszyn zbierających (pras zbierających, przyczep stogujących i przyczep zbierających) jest jakość pozyskanej paszy. Określanie strat towarzyszących zbieraniu siana z traw i lucerny jest istotnym elementem oceny technologii. W wielu krajach podstawową grupę maszyn stosowanych w technologiach zbioru suchych pasz objętościowych stanowią prasy zwijające (o różnej konstrukcji komory formowania beli), stąd analizie poddano głównie tę grupę maszyn (Anderson i in. 1981, Kicińska-Oszczak 1987, Manor i in. 1983, Potkonjak 1985, Shinnars i in. 1996).

5.3.1. Czynniki warunkujące powstawanie strat

W czasie pracy maszyn zbierających, a zwłaszcza tych których funkcjonowanie polega na podbieraniu materiału z wału i formowaniu z niego beli (tradycyjne prasy wysokiego stopnia zgniotu, prasy formujące duże bele cylindryczne i prostopadłościenną) występują niekorzystne zjawiska powodujące straty: straty podbierania (pick-up losses) to znaczy część materiału pozostawiona na polu lub łące przez zespół podbierający i straty formowania beli lub stogu (bale chamber losses). W wielkości strat formowania istotną pozycję stanowią często drobne części paszy, które charakteryzują się wysoką wartością pokarmową.

O wielkości strat mechanicznych towarzyszących procesowi zbioru suchych pasz objętościowych decydują głównie trzy grupy czynników:

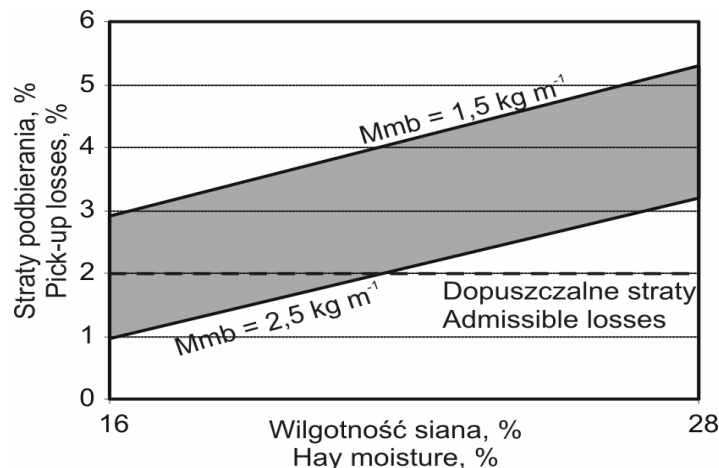
- parametry zbieranego materiału (rodzaj, wilgotność, stopień ulistnienia, długość źdźbeł, sposób uformowania wału),
- parametry konstrukcyjne maszyn zbierających (typ i szerokość podbieracza, sposób podawania materiału do komory roboczej, rodzaj komory prasowania wraz z budową elementów ją tworzących, sposób owijania beli w prasach zwijających),

- parametry eksploatacyjne (prędkość robocza, szybkość podawania materiału do komory prasowania lub skrzyni ładunkowej, czas owijania beli).

W wielu opracowaniach podejmujących zagadnienia jakości pracy maszyn zbierających zwraca się przede wszystkim uwagę na wielkość strat dla różnego rodzaju pasz (słoma, siano łąkowe oraz siano z roślin motylkowych) w funkcji ich wilgotności. Te trzy wymienione rodzaje pasz różnią się wyraźnie podatnością do powstawania strat (Bischoff i in. 1979, Manor i in. 1983, Rücker i Knabe 1983, Ruszała 2001, Svensson 1979).

W badaniach krajowych uwzględnia się tylko te części paszy, które pozostają na łące (polu) w miejscu zebranego wału (straty podbierania) (Kicińska-Oszczak 1987, Machajewski 1979, Nowak 1988, Waszkiewicz i in. 2000). Wyniki badań informują o właściwej pracy zespołów podbierających stosowanych w kraju maszyn, gdyż straty podbierania są mniejsze od strat dopuszczalnych (2% wg Krajowego Systemu Maszyn Rolniczych). W niektórych opracowaniach analizuje się straty powodowane zespołem podbierającym w funkcji poziomu zasilania maszyny zbieraną paszą oraz w funkcji zawartości suchej masy. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że wzrostowi wymienionych parametrów towarzyszą większe straty podbierania. Zwiększenie prędkości roboczej prasy zwijającej Z-543 z $0,79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $1,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ spowodowało wzrost strat podbierania podsuszanej zielonki z 1,72 do 2,43% (Waszkiewicz i in. 2000). Badania jakości pracy zespołu podbierającego przyczepy stogującej John Deere 300 prowadzone podczas zbioru słomy i siana łąkowego wykazały, że względne straty podbierania są uzależnione od wilgotności obrabianego materiału oraz masy wału odniesionej do jednego metra jego długości (Nowak 1988).

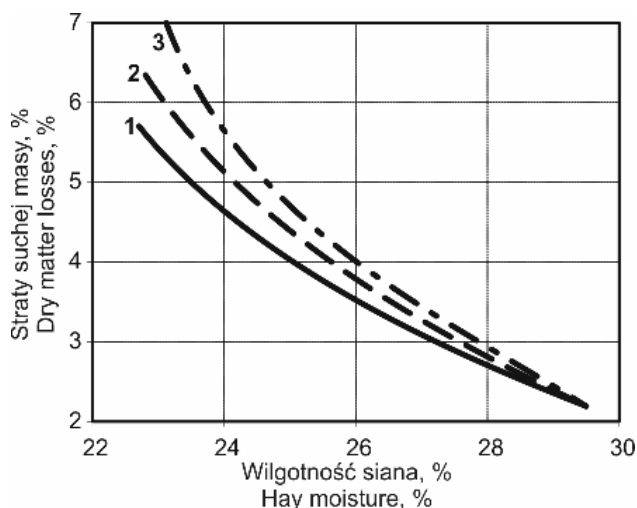
Z zależności przedstawionych na rysunku 50 wynika, że podczas zbioru siana powyżej 25% wilgotności poziom strat podbierania znacznie przekracza dopuszczalną granicę 2%. Materiał o podwyższonej wilgotności jest trudniejszy do podbierania z racji większej jego gęstości. Potwierdzają to również wyniki innych badań, które dotyczyły jakości pracy przyczep stogujących oraz rezultaty doświadczeń nad stosowaniem ładowaczy pneumatycznych do zbioru suchych pasz objętościowych (Mieszkalski 1982). Oceniając natomiast wpływ masy wału odniesionej do jednego metra jego długości na wartość strat podbierania należy stwierdzić, że jest to wynikiem przede wszystkim warunków prowadzenia badań. Znaczna wysokość ścierniska (podczas zbioru słomy) oraz niewyrównana powierzchnia łąki torfowej powodowały, że zespół podbierający nie był w stanie zebrać tej części paszy, która znajdowała się poniżej jego strefy oddziaływania. A więc przy małej masie wału o długości jednego metra ilość nie zebranej paszy stanowiła większą część ogólnego plonu niż to miało miejsce wtedy, gdy uformowany wał charakteryzował się dużą masą przypadająca na 1 m jego długości.



Rys. 50. Straty podbierania siana w funkcji jego wilgotności i masy wału o długości 1m (Mmb) (Nowak 1988)

Fig. 50. Pick-up losses of hay versus moisture content and weight of 1 m windrow (Mmb) (Nowak 1988)

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań nad jakością pracy pras zwijających siano łąkowe oraz siano z roślin motylkowych. Pellizzi i Lisa (1979) mierzyli straty suchej masy tych pasz zbieranych różnymi maszynami (przyczepą stogującą i prasami zbierającymi). Z zależności przedstawionych na rysunku 51 wynika, że straty podbierania są zbliżone i wynoszą 2-3%, jeśli wilgotność zbieranej paszy była w zakresie 28-30%.



Rys. 51. Zależność strat powodowanych różnymi maszynami w funkcji wilgotności siana (Pellizzi i Lisa 1979):

1 – prasa do formowania małych bel prostopadłościennych,
2 – prasa zwijająca,
3 – przyczepa stogująca

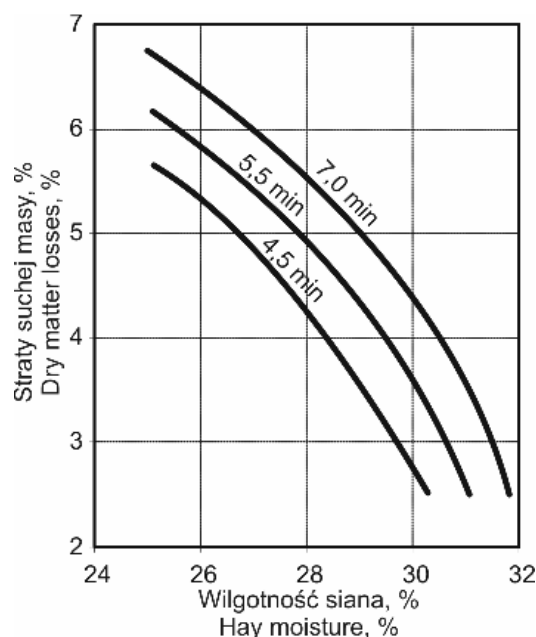
Fig. 51. Relationship between losses caused by different harvesting machines and moisture content in hay (Pellizzi and Lisa 1979):

1 – small rectangular baler,
2 – round baler,
3 – stack forage wagon

Są one natomiast kilkakrotnie większe, jeżeli wilgotność materiału jest poniżej 25%. Wtedy zaobserwowano większe straty przy pracy przyczepą stogującą w zestawieniu z prasami zbierającymi.

Warto również zwrócić uwagę na wpływ czasu sformowania beli na wielkość strat związanych z tym procesem (rys. 52). Wraz ze wzrostem poziomu zasilania prasy zwijającej maleją straty wykruszania, gdyż pasza jest wtedy w mniejszym stopniu narażona na niszczące działanie elementów tworzących komorę roboczą, a przede wszystkim pasowego systemu formowania beli cylindrycznej. Z zależności przedstawionych na rysunku 52 wynika, że straty suchej masy powodowane zespołem formowania beli w prasie zwijającej są stosunkowo wysokie, jeśli wilgotność zbieranego siana nie przekracza 26%. Wynoszą one nawet ponad 5% dla czteroipółminutowego czasu formowania beli. Należy sądzić, że zmniejszenie wilgotności zbieranego siana do poziomu pozwalającego na bezpieczne jego przechowywanie (poniżej 18%) spowodowałoby znaczny wzrost strat powodowanych głównym zespołem roboczym pras zwijających. Z przeglądu krajowych opracowań z zakresu jakości pracy pras zbierających i przyczep zbierających wynika, że w większości podaje się tylko straty powodowane zespołem podbierającym i to nawet podczas zbioru siana. Wartości określanego wskaźnika są wtedy znacznie niższe (1,54-3,5% dla paszy o wilgotności nie przekraczającej 20%) (Kicińska-Oszczak 1987, Waszkiewicz i in. 2000).

Badania prowadzone przez Fairbanksa, Fransena i Schrocka (1981) dotyczyły porównania jakości siana zbieranego przyczepą stogującą Hesston Stakhand 10 i prasami zwijającymi: Hesston 5400 i 5800 oraz Gehl 1500 (tab. 41).



Rys. 52. Wpływ wilgotności siana i czasu formowania bel cylindrycznych na straty suchej masy (Cavalchini i Lazzari 1981)

Fig. 52. Influence of moisture content in hay and forming time of round bales on dry matter losses (Cavalchini and Lazzari 1981)

Tabela 41. Zawartość wybranych składników pokarmowych w sianie zebranym różnymi maszynami (Fairbanks i in. 1981)**Table 41.** Content of selected nutrients in hay harvested with different machines (Fairbanks *et al.* 1981)

Rok badań Year of study	Rodzaj siana Hay type	Maszyna zbierająca Harvesting machine	Zawartość składników pokarmowych (s.m.) Nutrient content (% d.m.)		
			Białko Protein	Włókno Fibre	Popiół Ash
I	Stokłosa bezostna Brome	Allis-Chalmers	9,69	38,59	7,23
		Hesston 5400	9,89	38,85	7,13
		Hesston Stakhand 10	9,77	36,52	9,54
	Siano łąkowe Meadow hay	Allis-Chalmers	6,29	38,89	8,39
		Hesston 5400	5,73	33,02	7,67
		Hesston Stakhand 10	5,48	34,51	7,34
II	Stokłosa bezostna Brome	Allis-Chalmers	10,16	33,27	6,81
		Hesston 5800	11,35	33,07	7,34
		Hesston Stakhand 10	10,77	32,26	7,29
	Siano łąkowe Meadow hay	Allis-Chalmers	5,1	31,83	7,01
		Hesston 5800	5,26	29,47	7,21
		Hesston Stakhand 10	5,32	32,72	7,07
III	Stokłosa bezostna Brome	Allis-Chalmers	9,61	34,38	7,11
		Gehl 1500	10,10	35,57	6,74
		Hesston Stakhand 10	10,27	33,52	6,94
	Siano łąkowe Meadow hay	Allis-Chalmers	5,24	34,49	8,10
		Gehl 1500	5,21	33,64	7,81
		Hesston Stakhand 10	5,32	37,96	8,03

Z danych zamieszczonych w tej tabeli wynika, że skład chemiczny paszy zbieranej wymienionymi maszynami był zbliżony. Straty wykruszania powodowane pasowym zespołem formowania bel w prasach zwijających o zmiennej komorze prasowania są niskie. Takie wnioskowanie wydaje się uzasadnione ze

względu na zbliżoną jakość siana zbieranego prasami zwijającymi i przyczepą stogującą, której praca nie powoduje powstawania tego typu strat. Zdaniem Cavalchiniego (1976), strumień powietrza wytwarzany przez bijakowy zespół podbierający przyczep stogujących jest w stanie zebrać całą paszę znajdującą się w obrębie jego oddziaływania. Tak więc drobne części siana (rozdrobnione łodygi, liście), które powstały w wyniku poprzednio prowadzonych zabiegów mechanicznych mogą nie stanowić istotnej części ogólnych strat towarzyszących produkcji suchych pasz objętościowych. Nie mniej jednak istnieją niekorzystne zjawiska, które dotyczą pracy zespołu podbierającego przyczep stogujących. Polegają one na nadmiernym rozdrabnianiu paszy o niskiej wilgotności w wyniku dynamicznego uderzania bijaków. Najdrobniejsze frakcje materiału kierowanego do skrzyni ładunkowej nie zawsze znajdują się w obrębie formowanego stogu. Może mieć to miejsce podczas pracy przyczep stogujących przy zbyt silnym wietrze. Tracone drobne części roślin bogate w cenne składniki pokarmowe obniżają jakość zebranej paszy.

Z zależności przedstawionych w tabeli 42 wynika, że jakość zebranego siana z lucerny jest w dużym stopniu uzależniona od jego wilgotności. Jeśli wilgotność paszy wynosiła do 27,5% to nie stwierdzono istotnego wpływu typu maszyny zbierającej na skład chemiczny produktu końcowego. Charakteryzował się on dużą zawartością białka ogólnego (17,75%) i związków bezazotowych wyciągowych (45,99%). Przy wyższej zawartości suchej masy siana z lucerny zaobserwowano istotne różnice jakości produktu końcowego dla różnego typu maszyny zbierającej. Lepszej jakości paszę uzyskano, jeśli maszyną zbierającą była tradycyjna prasa wysokiego stopnia zgniotu Galignani 7000. Dla wilgotności materiału 20,6%, który zbierano przyczepą stogującą Stakhand 10, uzyskano produkt zawierający jedynie 11,55% białka ogólnego oraz 36,5% włókna surowego. W zestawieniu z jakością paszy zbieranej przy wilgotności 27,5% jest widoczne, że straty jakościowe powodowane przez zespoły robocze przyczepy stogującej są znaczne.

Z danych zamieszczonych w tabeli 42 wynika, że skład chemiczny paszy pochodzącej z małych bel prostopadłościennych formowanych maszyną Galignani 7000 (przekrój komory roboczej 38 cm x 48 cm) jest korzystniejszy w zestawieniu z paszą ze stogów. Jest to szczególnie widoczne na przykładzie zawartości związków bezazotowych wyciągowych i włókna surowego. Należy również dodać, że niewielkie zwiększenie wilgotności zbieranej paszy wpływało na ograniczenie strat mechanicznych, a tym samym na polepszenie jakości paszy znajdującej się w uformowanej beli lub stogu. Straty drobnych części roślin lucerny, a zwłaszcza liści obniżają zawartość białka w zebranej części plonu. Potwierdzają to wyniki wielu innych badań (Buckmaster 1993, Buckmaster i Heinrichs 1993, Douglas 1994, Shinnars i in. 1991, Starzycki 1981).

Tabela 42. Podstawowe parametry siana z lucerny zebranego różnymi maszynami (Cavalchini 1976)
Table 42. Basic parameters of alfalfa hay harvested with various machines (Cavalchini 1976)

Wyszczególnienie Item	Siano przed zbiorem (wczesny ranek) Hay before harvest (early morn- ing)	Maszyna zbierająca – Harvesting machine			
		Gallignani 7000		Stakhand 10	
		Termin zbioru – Harvest time			
		Wczesne popołudnie Early afternoon	Wczesny ranek dnia następnego Early morning next day	Wczesne popołudnie Early afternoon	Wczesny ranek dnia następnego Early mor- ning next day
Wilgotność Moisture content (%)	27,50	20,50	22,50	20,60	22,70
Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	17,75	12,70	14,35	11,55	12,70
Popiół surowy (% s.m.) Crude ash (% d.m.)	7,90	8,15	8,25	7,95	8,05
Ekstrakt eterowy (% s.m.) Ether extract (% d.m.)	3,36	3,52	3,36	3,17	3,24
Włókno surowe (% s.m.) Crude fibre (% d.m.)	25,00	34,20	33,20	36,50	35,40
Związki bezazotowe wyciągowe (% s.m.) N-free extractives (% d.m.)	45,99	41,63	40,84	40,82	40,61

Rezultaty doświadczeń Cavalchiniego (1976), które obejmowały również badania eksploatacyjne maszyn wymienionych w tabeli 23, wykazały, że zbiór siana z lucerny o wilgotności w zakresie 28-30% wiąże się ze stratami od 2,8% do 4,5%. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że największy zakres strat występował przy pracy prasy formującej małe bele prostopadłościennymi (maszyna Gallignani 7000). Zdaniem Cavalchiniego (1976) było to rezultatem mniejszej wilgotności zbieranego siana (28%) i dużej różnicy prędkości roboczej badanej maszyny ($5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i $3,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Wyniki badań Johnsona i innych (1984) informują o stratach suchej masy i zmianach składu chemicznego siana z lucerny zbieranego różnymi maszynami (tab. 24). Z danych tych wynika, że największe straty suchej masy wystąpiły przy formowaniu materiału w średniej wielkości bele cylindryczne maszyną New Holland 845. Zbliżone wielkości strat wystąpiły przy pracy prasą zwijającą Vermeer,

która formowała duże bele cylindryczne (średnia masa bel 544 kg). Natomiast straty suchej masy towarzyszące pracy przyczepy stogującej Hesston Stakhand były znacznie niższe od strat występujących przy pracy pras zwijających. Powyższe informacje dotyczą ilości strat, które powstają w całym procesie produkcji siana (koszenie, zabiegi mechaniczne przyspieszające proces suszenia, zgrabianie, zbiór). Mając na uwadze ten sam sposób przygotowania materiału do zbioru i związane z tym jednakowe straty wynikające z zabiegów koszenia, przetrząsania i zgrabiania w wały, należy stwierdzić, że finalne zróżnicowanie strat całej technologii związane jest tylko z pracą maszyn zbierających. Przyczyną tego jest odmienny sposób podbierania i formowania zbieranego materiału w maszynach zbierających oraz zróżnicowaną wilgotnością poszczególnych części roślin.

Z analizy wyników składu chemicznego paszy zbieranej w różnej postaci wynika, że najwyższą jakością charakteryzowało się siano pochodzące ze stogów i małych bel prostopadłościennych (najwyższa zawartość białka i wysoka strawność suchej masy *in vitro*). Najmniej korzystnym składem chemicznym cechowała się pasza formowana w średniej wielkości bele cylindryczne prasą zwijającą New Holland 845 (średnia masa bel 295 kg). Jest to wynikiem intensywnego oddziaływania łańcuchowo-rolkowego zespołu formowania beli maszyny zmiennokomorowej. Najbardziej zwraca uwagę niska jakość paszy pochodzącej z pierwszego pokosu, która w belach formowanych wyżej wymienioną maszyną zawiera najmniej białka ogólnego (15,8%) i charakteryzowała się najniższą strawnością suchej masy (61,6%). Porównując wielkość strat mechanicznych powodowanych przez poszczególne maszyny zbierające oraz jakość materiału zbieranego można stwierdzić, że istnieje pomiędzy nimi duża współzależność. Większym stratom mechanicznym towarzyszy gorsza jakość zebranej paszy. Wielu badaczy uważa prasy zwijające za maszyny, które z wyżej wymienionych względów nie są odpowiednie do zbioru roślin motylkowych (Ciotti i Cavallo 1979, Cunney i von Bargen 1982, Gieroba i Nowak 1991). Natomiast w zupełnie inny sposób ocenia się te maszyny podczas zbioru siana łąkowego i słomy. Rezultaty badań Fairbanksa, Fransena i Schrocka (1981) dowodzą, że skład chemiczny siana łąkowego i siana ze stokłosy, zbieranego prasami zwijającymi nie różnił się od składu chemicznego paszy zbieranej innymi maszynami.

Z danych przedstawionych w tabeli 43 wynika, że jakość paszy zebranej zmiennokomorową prasą zwijającą firmy Vermeer różniła się nieznacznie od materiału, który stanowił próbę kontrolną (zawartość białka ogólnego zmniejszyła się o około 9%). Informacja ta dotyczy jedynie pierwszego pokosu, gdyż rezultaty osiągnięte przy drugim pokosie są „korzystne”. Zawartość białka ogólnego w suchej masie zebranej paszy zmniejszyła się tylko o 0,9 punktu procentowego w zestawieniu z grupą kontrolną.

Z tabeli 43 wynika również, że strawność substancji organicznej *in vitro* wzrosła o 4 punkty procentowe (z 63,6 do 67,6%). Można więc podejrzewać, że sposób pobierania prób w prowadzonym doświadczeniu nie był prawidłowy. W takiej sytuacji ocena jakości pracy maszyny zbierającej na podstawie takich wyników staje się problemem niezwykle dyskusyjnym.

Wyniki badań prowadzonych nad oceną jakości pracy pras zbierających podczas zbioru siana z lucerny wykazują, że ten rodzaj paszy jest bardzo podatny na niszczące działanie mechanizmów roboczych maszyn. Duże ulistnienie roślin oraz znaczne wysuszenie najdelikatniejszych ich części przyczyniają się do powstawania poważnych strat mechanicznych. Wpływa to bardzo wyraźnie na obniżenie jakości zebranej paszy, gdyż materiał utracony charakteryzuje się wysoką wartością pokarmową (Anderson i in. 1981, Barr i in. 1995, Collins 1990, Shinnars i in. 1996). Z zależności przedstawionych w tabeli 44 wynika, że materiał pozostawiony w miejscu zebranego wału (straty podbierania) nie różni się znacznie od tego, który oceniano przed koszeniem. Natomiast straty powodowane przez zespół formowania

Tabela 44. Ocena jakościowa strat mechanicznych lucerny w porównaniu do nieskoszonych roślin oraz siana zebranego w postaci małych biał prostokątnych (Rotz i Abrams 1988)

Table 44. Quality estimation of alfalfa mechanical losses compared to uncut plants and harvested hay in the form of small rectangular bales (Rotz and Abrams 1988)

Oceniany materiał Estimated material	Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	Włókno neutralne detergentowe (% s.m.) Neutral detergent fibre (% d.m.)	Lignina (% s.m.) Lignin (% d.m.)	Strawność suchej masy <i>in vitro</i> <i>In vitro</i> dry matter digestibility (%)
Rośliny nieskoszone Uncut plants	17,7	43,1	7,8	66,7
Straty powodowane pierw- szym przetrząsaniem First tedding losses	20,6	40,5	6,1	69,6
Straty powodowane drugim przetrząsaniem Second tedding losses	19,6	44,5	7,8	66,2
Straty podbierania Baler pick-up losses	18,4	47,4	8,1	64,2
Straty wykruszania Baler chamber losses	24,2	34,5	5,2	71,6
Zebrane siano (w beli) Harvested hay (in the bale)	19,0	45,4	7,6	65,9

beli przedstawiają materiał wysokiej jakości, którego strawność *in vitro* wynosiła 71,6%, a zawartość białka ogólnego w suchej masie przekraczała 24%. Ocena jakościowa strat nie informuje o wartości produktu końcowego, gdyż nie uwzględnia wielkości tych strat (masy materiału). A więc w doświadczeniu prowadzonym przez Rotza i Abramsa (1988), które miało na celu określenie strat mechanicznych związanych ze zbiorem siana z lucerny tradycyjnymi prasami wysokiego stopnia zgniotu uzyskano paszę o wysokiej wartości pokarmowej (19% białka i 7,6% zawartości lignin w suchej masie). Świadczy to o tym, że ilościowe straty suchej masy powodowane maszynami stosowanymi podczas realizacji poszczególnych operacji procesu technologicznego (przetrzęsanie, zbiór) były stosunkowo niskie i wynosiły: 3,5% dla pierwszego przetrzęsania, 0,8% dla drugiego przetrzęsania, 1,8% dla zespołu podbierającego i 1,1% dla komory formowania beli. Są to wartości bardzo niskie w zestawieniu ze stratami podawanymi np. przez Johnsona i innych (1984).

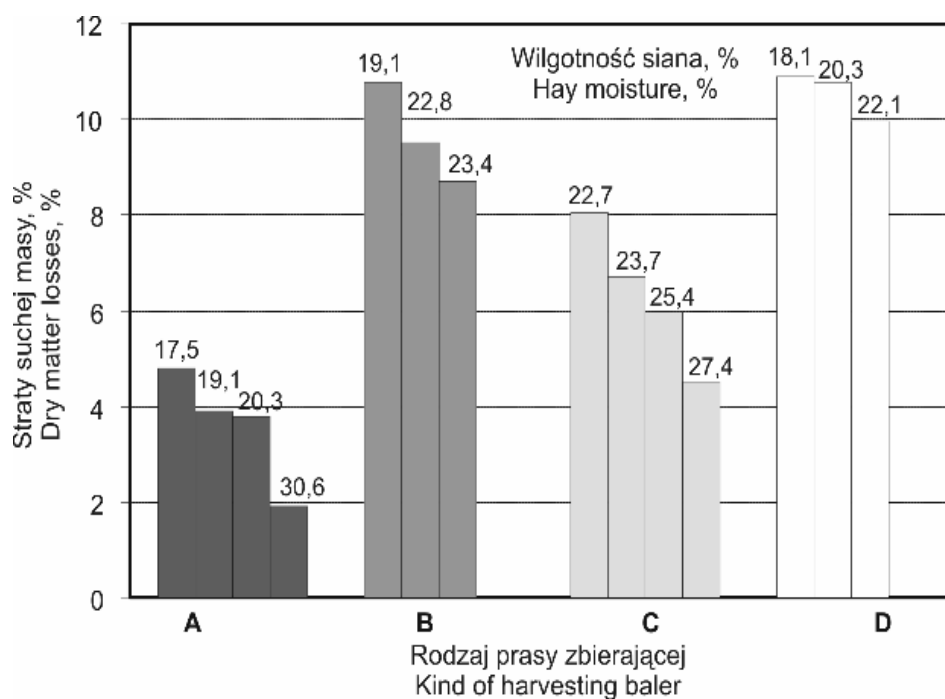
Rezultaty badań dotyczących jakości pracy pras wysokiego stopnia zgniotu prowadzone przez Koegela i innych (1985b) informują, że ogólne straty powodowane maszyną zbierającą wynoszą około 5% (w tym pasza pozostawiona przez zespół podbierający – 2,15%). Pozostała część strat jest wynikiem niszczącego działania układu formowania beli.

Na uwagę zasługują wyniki badań dotyczące strat powodowanych prasami zwijającymi o różnej budowie komory roboczej. Z zależności przedstawionych na rysunku 53 wynika, że klasyczna prasa zbierająca powoduje najmniejsze straty podczas formowania bel siana z lucerny. Nie przekraczają one 5% nawet przy zbiorze paszy o wilgotności 17,5%. Jest to wartość dwuipółkrotnie mniejsza w zestawieniu ze stratami towarzyszącymi pracy pras zwijających podczas zbioru lucerny o wilgotności około 20%. Zbiór tego typu paszy prasami zwijającymi prowadzi do bardzo dużych strat. Wynoszą one ponad 10% jeśli wilgotność siana nie przekracza 20%. Prasa stałokomorowa powodowała znacznie mniejsze straty niż maszyny o zmiennym przekroju komory roboczej. Uwaga ta dotyczy prasy wyposażonej w pasowy system zwijania beli (Welger RP-180). Maszyny z rolkową komorą roboczą powoduje również duże straty materiału.

Badania Hana i in. (2004) dotyczyły określania wpływu wilgotności lucerny zbieranej prasą zwijającą New Holland 648 na jakościowe parametry materiału w uformowanej beli (średnica beli 1,5 m, szerokość beli 1,2 m).

Z danych zamieszczonych w tabeli 45 wynika, że pasza pochodząca z bel uformowanych z materiału zawierającego nieznaczne ilości wody charakteryzowała się najniższą wartością pokarmową. Zawierała znacznie mniej białka i strawnych substancji w zestawieniu z paszą przeznaczoną do zakiszania. Szczególnie jest to widoczne przy porównywaniu z materiałem najbardziej wilgotnym. Świadczy to o du-

zych stratach powodowanych zespołami roboczymi prasy zwijającej przy zbiorze materiału znacznie wysuszonego. Kiszonka otrzymana z materiału bardziej wilgotnego (58,7% wilgotności) charakteryzowała się lepszą jakością w zestawieniu z paszą uzyskaną z zielonki bardziej podsuszanej (52,4% wilgotności). Lepszej jakości kiszonka zawierała mniej węglowodanów strukturalnych, a stosunkowo duża zawartość w niej kwasu propionowego (0,173% w suchej masie paszy pochodzącej z bel, których zagęszczenie początkowe wynosiło 207 kg s.m.m⁻³) świadczy o korzystnym przebiegu fermentacji. Głównymi drobnoustrojami biorącymi udział w procesie zakiszania zielonki były homofermentacyjne bakterie kwasu mlekowego. Obecność kwasu propionowego w kiszonce zwiększa jej stabilność w warunkach aerobowych (Wilkinson 2005).



Rys. 53. Wpływ wilgotności siana z lucerny na straty suchej masy powodowane prasami zbierającymi o różnej konstrukcji zespołu formowania beli (Potkonjak 1985): A – prasa formująca małe bele prostopadłościennie JD 224 T, B – prasa zwijająca Claas Rollant 85, C – prasa zwijająca Welger RP 180, D – prasa zwijająca Hesston 5580

Fig. 53. Effect of moisture content in alfalfa hay on dry matter losses caused by pick-up balers with different bale forming units (Potkonjak 1985): A – JD 224 T small rectangular baler, B – Claas Rollant 85 round baler, C – Welger RP 180 round baler, D – Hesston 5580 round baler

Tabela 45. Wpływ wilgotności lucerny zbieranej zmiennokomorową prasą zwijającą New Holland 648 na jakość paszy w uformowanej beli (Han i in. 2004)

Table 45. Effect of moisture content in alfalfa harvested with New Holland 648 variable chamber baler on quality of forage in formed bale (Han *et al.* 2004)

Wyszczególnienie – Item	Wilgotność lucerny Alfalfa moisture content (%)		
	9,8	52,4	58,7
Włókno neutralne detergentowe (% s.m.) Neutral detergent fibre (% d.m.)	50,6	42,9	40,7
Białko ogólne (% s.m.) Crude protein (% d.m.)	16,5	20,4	21,3
Lignina kwaśna detergentowa (% s.m.) Acid detergent lignin (% d.m.)	6,1	5,6	5,1
Strawność suchej masy <i>in vitro</i> <i>In vitro</i> dry matter digestibility (%)	53,7	60,9	62,6

Najnowsze wyniki badań prowadzonych we Włoszech dotyczyły między innymi oceny wpływu pracy zespołu tnącego prasy zwijającej na straty powodowane zespołem formowania beli (Borreani i Tabacco 2006). Przedmiotem badań była prasa stałokomorowa New Holland 5930 wyposażona w piętnaście biernych noży (teoretyczna długość cięcia 93 mm) oraz wirnik z podwójnie usytuowanymi zębami, które stanowiły krawędzie przeciwnące. Zbieranym materiałem była lucerna (pierwszy i drugi pokos) przeznaczona do zakiszania, której wilgotność wynosiła od 39,5 do 65%. Rezultaty tych badań wykazały, że formowanie beli z materiału rozdrobnionego wiąże się z większymi stratami w porównaniu z materiałem nierozdrobnionym. Drobne części paszy łatwo opuszczają przestrzeń komory zwijania beli i zwiększają straty. Wyniki prowadzonych doświadczeń wykazały również, że wzrostowi zawartości suchej masy w zbieranej lucernie towarzyszy wzrost strat powodowanych zespołem formowania beli. Najwyższy poziom strat wyniósł 4,7% i odnosił się do formowania beli z materiału rozdrobnionego, którego wilgotność wynosiła 39,5%. Straty związane z formowaniem beli z materiału nierozdrobnionego wynosiły tylko 2%. Duża wilgotność zbieranego materiału (65%) wpłynęła na znaczne ograniczenie strat, które wynosiły 0,5% i 1%. Na podstawie wyników badań prowadzonych we Włoszech można stwierdzić, że rozdrabnianie materiału w prasie zwijającej przyczynia się do wzrostu strat wynikających z formowania beli. Wzrost tych strat jest tym większy im zbierany materiał jest mniej wilgotny. Można więc sądzić, że straty wynikające z formowania beli z materiału suchego, który został rozdrobniony zespołem tnącym będą wysokie. Jeśli zbieranym materiałem byłoby siano z lucerny to duże straty ilościowe zdecydowałyby o niskiej jakości zebranej paszy (drobne części

tego typu roślin stanowiące w większości straty formowania beli cylindrycznej są bogate w składniki pokarmowe).

Dotychczasowe rozważania nad stratami wynikającymi z pracy maszyn zbierających odnosiły się głównie do pras zbierających i przyczep stogujących. Po wszechnie stosowane sieczkarnie polowe i przyczepy powodują również straty, które związane są głównie z pracą zespołów ścinających lub podbieraczy (Gach 2005). Omówienie tego zagadnienia nie jest jednak możliwe ze względu na brak literatury w tym zakresie. Można również dodać, że nieumiejętne kierowanie sieczkarnią polową może być przyczyną dużych strat materiału dostarczanego do skrzyni środków transportowych. Odpowiednie usytuowanie noży tnących na bębnie rozdrabniającym zapewnia formowanie wąskiego strumienia paszy, co ułatwia jego właściwe ukierunkowanie do skrzyni ładunkowej środka transportowego. Określenie wszystkich czynników pozwalających na oszacowanie strat wynikające ze zbioru roślin sieczkarniami polowymi jest w chwili obecnej niemożliwe z powodu fragmentaryczności przeprowadzanych badań. Z kolei podczas zbioru całych roślin kukurydzy z przeznaczeniem na kiszonkę bardzo ważnym czynnikiem może być konstrukcja zespołu ścinającego. Powstałe w ostatnich latach konstrukcje zespołów bezrzędowych (np. firmy Krone) nie były dotychczas przedmiotem takich badań.

Ocena strat mechanicznych towarzyszących pracy maszyn zbierających stosowanych w technologiach produkcji siana i kiszzonek nie jest w odpowiednim zakresie podejmowana w opracowaniach krajowych. Problem ten jest niezmiernie istotny ze względu na bezpośredni związek strat części zbieranych roślin z wartością paszową zebranego plonu. W nielicznych opracowaniach zagranicznych dokonuje się podziału strat powodowanych prasami zbierającymi (straty podbierania oraz straty formowania bel). Ocena maszyn zbierających w oparciu o wartości wymienionych kategorii strat jest niezmiernie przydatna zarówno dla ich producentów jak i użytkowników.

Problem modeli matematycznych strat mechanicznych powodowanych maszynami zbierającymi jest podejmowany tylko w niewielu opracowaniach. Podawane zależności są zwykle funkcją jednej lub dwu zmiennych. Nie są to modele, które można stosować do oceny strat towarzyszących maszynom pracującym w różnych warunkach.

5.3.2. Modele matematyczne strat powodowanych maszynami zbierającymi

W ostatnich latach coraz częściej opracowuje się modele matematyczne pozwalające na ocenę jakości pracy maszyn stosowanych w technologiach zbioru pasz łądogowych. Dotyczy to również maszyn do zbioru zielonek i siana. W tych modelach szczególną uwagę zwraca się na oszacowanie strat powodowanych

zespołami roboczymi pras zbierających podczas formowania bel z materiału o różnej wilgotności.

Rotz i Muck (1994) ustalili następującą zależność określającą straty związanych z funkcjonowaniem zespołu podbierającego maszyny zbierającej:

$$S_p = \frac{30}{m\gamma} \quad (72)$$

gdzie: S_p – straty powodowane zespołem podbierającym (straty podbierania), (%).

Podane równanie nie uwzględnia wpływu prędkości roboczej maszyny na efekty jej pracy. A więc obowiązuje ono głównie w warunkach pracy, gdzie prędkość obwodowa palców podbieracza przekracza prędkość roboczą maszyny.

Wyniki prac doświadczalnych prowadzonych w Prairie Agricultural Machinery Institute (Kanada) (Koegel i in. 1985b) były podstawą do opracowania modelu strat suchej masy zbieranej paszy, powodowanych zespołem formowania beli. Jego postać jest następująca:

$$S_f = 0,25 f m^{-1,2} \quad (73)$$

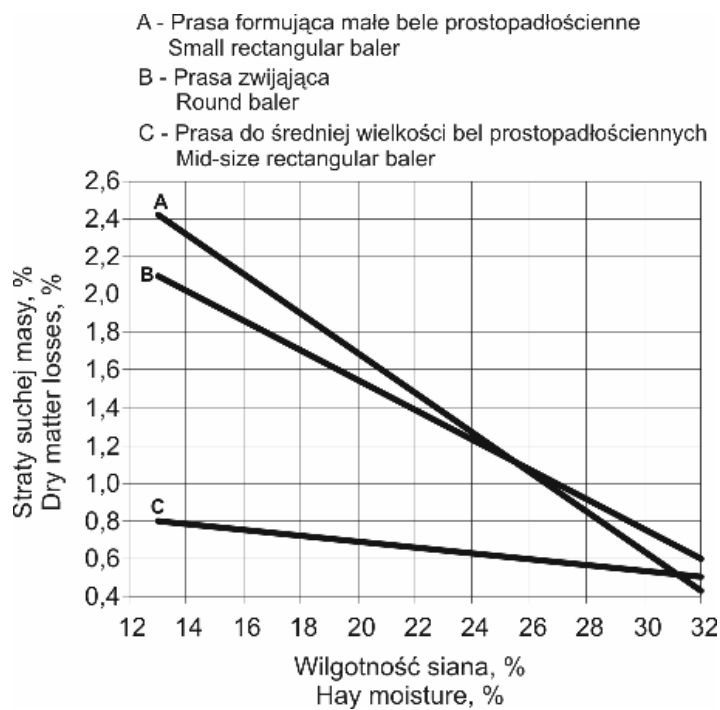
Występujący w tym równaniu współczynnik f , który uwzględnia typ i budowę komory formowania beli prasy zbierającej przybiera wartości:

- 1,0 – dla pras formujących małe bele prostopadłościenne (zbiór paszy w ciągu dnia),
- 0,5 – dla pras formujących małe bele prostopadłościenne (zbiór nocny),
- 0,5 – dla pras formujących bele prostopadłościenne średniej wielkości (przekrój poprzeczny beli około $0,5 \text{ m}^2$),
- 1,0 – dla pras zwijających zmiennokomorowych,
- 2,5 – dla pras zwijających stałokomorowych.

Model matematyczny opracowany na podstawie wyników badań prowadzonych przez Buckmastera i innych (1990) uwzględnia nieliniową zależność pomiędzy stratami powodowanymi zespołem formowania beli, a wilgotnością zbieranej paszy:

$$S_f = 5,7 e^{-0,054m} \quad (74)$$

Wyniki badań Shinnersa i innych (1996) dotyczące oceny jakości pracy pras zbierających o różnej budowie komory formowania beli posłużyły do opracowania modelu strat suchej masy lucerny tylko w funkcji wilgotności zbieranego materiału (rys. 54).



Rys. 54. Wpływ wilgotności siana z lucerny na straty suchej masy powodowane zespołami formowania bel różnych pras zbierających (Shinners i in. 1996)

Fig. 54. Effect of moisture content in alfalfa hay on dry matter losses caused by bale chamber of various pick-up balers (Shinners *et al.* 1996)

Należy jednak dodać, że wartości współczynnika korelacji tych parametrów nie są wysokie (od 75 do 43%). Straty powodowane przez zespół formowania bel prostopadłościennych w maszynach, w których oś komory roboczej pokrywa się z osią podbieracza są znacznie niższe w zestawieniu ze stratami innych pras. Dla małej wilgotności zbieranej paszy (w zakresie 14-16%) są one prawie trzykrotnie mniejsze niż straty powodowane przez inne maszyny zbierające. Boczne zasilanie komory prasowania maszyn formujących małe bele prostopadłościennne powoduje znaczne straty zbieranego materiału, zwłaszcza jego drobnych części. Przyczyną tego jest oddziaływanie zespołów podbierająco-podających. W prasach o wspólnym położeniu podbieracza i komory formowania (dla średnich i dużych bel prostopadłościennnych) wymienione części zbieranego materiału są w większości odzyskiwane przez wprowadzany strumień paszy.

Wielkości strat związanych z pracą głównego zespołu roboczego pras formujących małe bele prostopadłościennne oraz pras zwijających, określane na podsta-

wie zależności podanych przez Shinnersa i innych (1996) są zbliżone. Natomiast obliczone z równania (62) opracowanego na podstawie wyników badań prowadzonych w Prairie Agricultural Machinery Institute (Kanada) (Koegel i in. 1985b) różnią się znacznie. Decyduje o tym wartość współczynnika f występującego w tym równaniu a którego wartość zależy od warunków zbioru i rodzaju komory formowania beli.

Rezultaty badań Buckmastera i Heinrichsa (1993) posłużyły do określenia strawności siana z lucerny na podstawie zawartości suchej masy zebranego materiału prasami formującymi małe bele prostopadłościennie:

$$\text{IVDMD} = 65,6 - 0,314(m-18) \quad (75)$$

gdzie: IVDMD – strawność suchej masy *in vitro* (%).

Z podanej zależności wynika, że strawność suchej masy *in vitro* zebranego siana (o wilgotności 18%) wynosi 65,6%. Podane zatem równanie odnosi się tylko do określonych warunków, w których prowadzono badania (drugi i trzeci pokos, faza rozwoju koszonych, warunki klimatyczno-glebowe w okresie wegetacji roślin oraz korzystne warunki polowego suszenia). Oszacowanie strawności suchej masy złej jakości siana będzie wtedy znacznie zawyżone w stosunku do rzeczywistej wielkości.

6. PODSUMOWANIE

Pasze pozyskiwane z zielonek są i będą podstawą w żywieniu przeżuwaczy. Zchowanie jak najlepszej wartości odżywczej tych pasz wymaga również wiedzy na temat czynników wpływających na straty powstałe w trakcie zbioru i konserwacji zielonek.

W tabeli 46 zestawiono przykładowe wielkości strat suchej masy plonu traw łąkowych i czynniki przyczyniające się do powstawania tych strat. Zakładając przeciętne warunki zbioru największe straty powstają przy przetrząsaniu i zgrabianiu, ale także pozostałe operacje technologiczne znacząco zwiększają ich wielkość. Zmniejszenie wpływu poszczególnych czynników odpowiedzialnych za straty suchej masy ogranicza się głównie do doboru odpowiednich parametrów pracy maszyn i wyboru odpowiedniego terminu zabiegów, uwzględniającego fazę rozwoju roślin oraz warunki atmosferyczne.

Ze względu na zróżnicowany rozkład masy roślin i zawartości składników pokarmowych wzdłuż źdźbła roślin wysokość koszenia może być czynnikiem decydującym o ilości i jakości plonu. Na przykład w przypadku lucerny koszenie na większej wysokości pozwala na uzyskanie lepszej jakości zielonki lub siana

Tabela 46. Czynniki i straty połowe związane z pozyskiwaniem pasz z zielonek (dla przeciętnych warunków zbioru traw łąkowych)

Źródło strat	Najważniejsze czynniki decydujące o wielkości strat	Straty (% s.m. plonu)
Koszenie	Wysokość koszenia (177, 200), typ zespołu tnącego i kondycjonującego (7, 98, 130, 146, 165), prędkość robocza kosiarki (146), stan powierzchni pola (łąki), rodzaj i faza rozwoju roślin (228, 242), architektura łąki (7, 231)	1-4 (kosiarki nożycowe, bębnowe i talerzowe) 3-8 (kosiarki bijakowe)
Oddychanie	Wilgotność roślin (189), zawartość cukrów (149), temperatura i wilgotność powietrza (112, 286), stopień „zranienia”, tkanki (56, 134, 246), czas suszenia roślin, fazy rozwoju roślin (97, 196)	2-8 (nie więcej niż 16)
Wymywanie przez deszcz	Wilgotność roślin (41, 75, 219), zawartość cukrów (215), rodzaj obróbki mechanicznej (163), wielkość i intensywność opadów (75, 210, 257)	3 (pasza nie poddana obróbce mechanicznej, opad deszczu 18 mm) 5-7 (pasza kondycjonowana podczas koszenia, opad deszczu 18 mm)
Roztrząsanie, przetrząsanie, odwracanie, zgrabianie	Rodzaj i faza rozwoju roślin (81, 221), wilgotność obrabianego materiału (207, 233), rodzaj i prędkość robocza maszyn (10, 27, 123, 233), liczba zabiegów (27, 30, 123)	6-14 (podany zakres odnosi się do sumy strat) 1-3 (podczas odwracania pokosów)
Zbiór	Rodzaj i wilgotność materiału (34, 71, 102, 168, 191), typ maszyny (33, 71, 118, 191, 199), sposób formowania beli w prasach (133, 199, 244), prędkość robocza maszyny (34, 168, 275)	1-6 (dla pras do małych bel prostopadłościennych) 3-9 (przy zbiorze prasami zwijającymi)

Table 46. Factors and field losses involved in forage obtainment from green fodder (for average conditions of meadow grasses harvesting)

Source of losses	Main factors influencing the amount of losses	Losses (% d.m. of yield)
Cutting	Cutting height (177, 200), type of cutting and conditioning unit (7, 98, 130, 146, 165), working velocity of mower (146), condition of field (meadow) surface, kind and growth stage of plants (228, 242), sward structure (7, 231)	1-4 (cutterbar mower, drum mower and disc mower) 3-8 (flail mower)
Respiration	Moisture of plants (189), content of sugars (149), temperature and moisture of air (112, 286), degree of tissue injury (56, 134, 246), drying time of plants, growth stage of plants (97, 196)	2-8 (not more than 16)
Leaching by rain	Moisture of plants (41, 75, 219), content of sugars (215), kind of mechanical treatment (163), amount and intensity of rainfall (75, 210, 257)	3 (forage without mechanical treatment, rainfall amount of 18 mm) 5-7 (conditioned forage during cutting, rainfall amount of 18 mm)
Spreading, tedding, inversion, raking	Kind and growth stage of plants (81, 221), moisture content of treated material (207, 233), type and working velocity of machines (10, 27, 123, 233), number of treatments (27, 30, 123)	6-14 (mentioned range includes total losses) 1-3 (during inversion of swath)
Harvesting	Kind and moisture of material (34, 71, 102, 168, 191), type of machine (33, 71, 118, 191, 199), manner of bale formation in the balers (133, 199, 244), working velocity of machine (34, 168, 275)	1-6 (for small rectangular balers) 3-9 (during harvesting with round balers)

(większa ilość białka ogólnego i mniejsze ilości włókna surowego) (Downs i Taylor 1989, Skrzyniarz 1981), co rekompensuje straty ścierniskowe. Rozkład masy wzdłuż źdźbeł (Ollerenshaw i Hodgson 1997) różnych gatunków traw także jest zróżnicowany, tak więc podstawowym warunkiem zmniejszania strat jest dobranie odpowiedniej wysokości koszenia dla danego gatunku roślin oraz dla danego terminu pokosu. Dobór odpowiedniej wysokości koszenia ma też specjalne znaczenie dla uzyskania odpowiedniej wartości odżywczej kiszonki z kukurydzy. Pozostawienie wyższego ścierniska (np. 46 cm) (Collins 1982) zapewniło polepszenie jakości paszy. Składniki pokarmowe znajdujące się w wyższych partiach roślin kukurydzy cechują się lepszą strawnością w porównaniu do tych zawartych w niższych częściach. Dlatego uzyskane efekty żywieniowe krów mlecznych karmionych między innymi kiszonką pochodzącą z górnych partii roślin były najlepsze (Neylon i Kung 2003). Podobnie w przypadku owsa – wyższe (do 45 cm): koszenie pozwala uzyskać lepszą kiszonkę (Grabowicz 1998, Grabowicz i in. 1998). Wyssokie ścinanie pszenicy (20 cm) także gwarantuje lepszą kiszonkę ze względu na wyższą zawartość skrobi i wyższą strawność (Jackson i in. 2004). Jednak dalszych badań wymaga określenie wpływu wysokości koszenia na odrastanie roślin przed następnym koszeniem (Brown i Blaser 1965, Hayes i Williams 1995, Jattimiansky i in. 1997, Lawrence i in. 1970, Olszewska i Wielicka 1979, 1980, 1981a, 1981b). Zachowanie kompromisu między dobrą jakością zielonki z pierwszego pokosu a zapewnieniem odpowiedniej dynamiki późniejszego odrastania roślin będzie możliwe dopiero po poznaniu produktywności użytków zielonych w całym okresie wegetacyjnym, a także w następnych latach (Parsons i in. 1988, Peterson 1994a, 1994b, Robowsky i in. 1977, Volenee 1986).

Straty powodowane oddychaniem skoszonych roślin definiowane są przez większość badaczy jako ubytki węglowodanów. Jednak oddychanie jest zjawiskiem bardziej złożonym i nie jest wystarczająco poznane. Stąd wyniki uzyskane z badań, w których oddychanie uznaje się wyłącznie jako przemianę utleniania węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie różnią się od wyników wyników osiągniętych metodą bezpośredniego określania strat substancji organicznej czyli metodą wagową (Greenhill 1959, Henderson 1973, Melvin i Simpson 1963, Pizarro i James 1972). Wielu badaczy ustala krytyczny poziom wilgotności materiału przy której hamowane są procesy oddychania na poziomie 18-40% (McGechan 1989, Podkówka i in. 1984, Rees 1982, Roszkowski 1980, Toussaint i in. 1988). Faza rozwojowa i wiek tkanki ma zasadniczy wpływ na natężenie oddychania (Henderson 1973, Melvin i Simpson 1963, Pizarro i James 1972, Wolf i Carson 1973) Największą dynamikę oddychania zarejestrowano w materiale najwcześniej koszonej (młoda tkanka) i zawierającym najwięcej wody. Podobnie we wczesnych fazach rozwoju wegetacyjnego oddychanie przebiega intensywniej niż

w zielonce dojrzałej. Stwierdzono także, że oddychanie liści jest bardziej intensywne niż łądyg – jednak w późniejszym stadium wegetacji łądygi zachowują większą aktywność niż liście (Greenhill 1959). Rozbieżności w ocenie wpływu temperatury i wilgotności na natężenie oddychania dotyczą głównie określenia granicznej temperatury przy której materiał ma ustabilizowane natężenie oddychania (Honig 1979, Melvin i Simpson 1963, Rees 1982, Wolf i Carson 1973, Wood i Parker 1971). Generalnie, straty materii organicznej z powodu oddychania zwiększają się ze wzrostem temperatury i są większe przy wyższej wilgotności materiału. Natężenie oddychania wzrasta wraz ze wzrostem „zranienia” tkanki, a więc zabiegi mechaniczne przyspieszające suszenie „powinny” zwiększać straty będące wynikiem oddychania skoszonych roślin. Jednak w korzystnych warunkach atmosferycznych podczas polowego suszenia pasz wstępne zabiegi mechaniczne nie mają znaczącego wpływu na wzrost strat powodowanych oddychaniem roślin gdyż szybko zmniejsza się wilgotność paszy, która hamuje procesy życiowe komórek (Honig 1979). Wyższe jednak straty obserwuje się przy materiale o dużej wilgotności i poddawanych intensywnej obróbce mechanicznej (maceracji) (Dernedde i Honig 1979, Simpson 1961, Kraus i in. 1999).

Straty spowodowane opadami deszczu związane są nie tylko z wymywaniem składników pokarmowych z zielonek, ale także z rozwojem drobnoustrojów i przedłużaniem życia komórek. (Atzema 1993, Gieroba i Nowak 1992, Kerr i Brown 1965, Robertson 1983, Wright i in. 2000). Straty powodowane ługującym działaniem deszczu zalicza się często do tej samej kategorii co straty mechaniczne, które przybierają duże rozmiary wtedy, gdy pasza jest znacznie podsuszona. Deszcz powoduje głównie straty suchej masy (do 18%) i wymywanie węglowodanów rozpuszczalnych (do 28%) oraz prawie całkowite wymycie potasu (Sallo i Virtanen 1983). Największe spustoszenia w zawartości składników pokarmowych czynią opady padające na częściowo wysuszoną zielonkę (do 28% strat suchej masy i 64% węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie). Niewielkie opady w początkowej fazie suszenia nie są groźne dla wartości paszy (Collins 1982). Wzajemne proporcje składników pokarmowych zmieniają się w trakcie opadów i względny wzrost białka czy celulozy jest związany zwłaszcza ze zmniejszeniem się ilości węglowodanów rozpuszczalnych w wodzie (Collins 1982, Fannesbeck i in. 1986). Jednak intensywna obróbka mechaniczna przyczynia się do zwiększenia wymywania składników pokarmowych (Rotz i in. 1991, Sundberg i Thylén 1994). Pogorszenie się jakości paszy poddawanej maceracji i matowaniu i opadom deszczu polegało głównie na obniżeniu strawności paszy i wzroście zawartości włókna.

Przy ocenie strat powodowanych maszynami stosuje się metodę zbioru ręcznego, zbioru strat wentylatorem ssącym lub metodę z wykorzystaniem sztucznego podłoża. Różnice metodyczne są przyczyną zróżnicowania uzyskanych wyników

i utrudnieniem w ich porównywaniu. Jednak konstrukcja zespołu tnącego decyduje przede wszystkim o wielkości strat. Największe straty (nawet do 30%) powoduje zespół bijakowy (Barrington i Bruhn 1970). Kosiarki nożycowe nie zachowują stałej, wymaganej wysokości koszenia co także przyczynia się do wzrostu strat ścierniskowych (Klinner 1969). Prędkość robocza maszyny i obwodowa noży kosiarek rotacyjnych są parametrami wpływającymi na wielkości strat. Do ścinania roślin wiotkich trzeba stosować mniejsze prędkości robocze. Największe rozdrobnienie roślin powodują kosiarki rotacyjne z poziomą osią obrotu (Marszałek 1973). Stwierdzono, że kosiarki bez dodatkowych zespołów kondycjonujących powodowały niewielkie (0,2-0,3%) straty (Borreani i in. 1999, Frick i Ammann 1999). Konstrukcja zespołu kondycjonującego jest czynnikiem decydującym o wielkości strat (Savoie i in. 1993a, 1993b, 1994, Shinnars i in. 1987b, 1991, 1992, Suwarno i in. 1999). Na przykład straty powstałe w trakcie pracy wirnikowych zespołów kondycjonujących są o prawie 45% wyższe niż te powstałe przy pracy walców zgniatających. Jednak wstępna obróbka mechaniczna profilowanymi walcami zgniatającymi, chociaż przyspiesza suszenie, to zwiększa straty wykruszania (Klinner 1969). Maceracja jako zbyt intensywna obróbka mechaniczna roślin nie znalazła zastosowania w praktyce (Frost i in. 1995, Risser i in. 1985, Shinnars i in. 1985, Thylén i Sundberg 1994, Wilkinson i in. 1999), chociaż znacznie przyspieszała proces suszenia. Próba ograniczania wielkości strat podczas maceracji było opracowanie technologii formowania maty ze skoszonej zielonki. Jednak intensywniejszej maceracji towarzyszyły wysokie wskaźniki podatności maty na zniszczenie i nawet niewielkie opady deszczu jeszcze pogarszały jakość mat (Risser i in. 1985, Savoie i Beauregard 1991, Savoie i in. 1993, Shinnars i in. 1987a).

Przetrzęsanie i roztrzęsanie to zabiegi, które przyspieszają połowe suszenie ale są też przyczyną poważnych strat jakościowych i ilościowych (Savoie i Beauregard 1991, Savoie i in. 1992, 1993a). Części roślin tracone podczas przetrzęsania i zgrabiania mają wysoką wartość pokarmową (Rotz i in. 1984). Zwłaszcza rośliny gruboładogowe narażone są na tego rodzaju straty, gdyż charakteryzują się nierównomiernym wysychaniem. Specjalnie liście są narażone na uszkodzenia podczas tych zabiegów (Barrington i Bruhn 1970, Ciotti i Cavallero 1979, Dyląg i in. 1999, McGechan 1988, Neimitz 1998, Overvest 1979, Robertson 1983, Savoie i in. 1982, Schukking i Overvest 1979, Vincent 1983, 1990). Podatność na powstawanie strat w czasie zabiegów mechanicznych jest bardzo zróżnicowana w zależności od gatunku roślin, ich morfologii oraz terminu zbioru i wilgotności obrabianego materiału. Na przykład silnie ulistniona lucerna jest narażona na największe straty w porównaniu do traw łąkowych. Poza tym większa wilgotność materiału powoduje, że jest on mniej narażony na straty niż podsuszony (Rotz i Abrams 1988, Savoie i in. 1982). Typ stosowa-

nych maszyn do przetrząsania i podbierania ma także istotny wpływ na straty (Bengtsson 1983, Frick i Ammann 2000, Kanafojski i Karwowski 1972). Na przykład w warunkach produkcyjnych zgrabiarki karuzelowe i prasy zbierające powodowały najmniejsze straty (Bengtsson 1983).

Niewielka ilość badań oceniających straty powodowane sieczkarniami upoważnia tylko do wniosku, że umiejętne kierowanie sieczkarnią (dobór prędkości jazdy, dobre usytuowanie noży na bębnie tak, aby formować wąski strumień paszy i właściwe ukierunkowanie go na środek transportowy) może ograniczyć straty. Natomiast zbiór prasami zbierającymi i przyczepami stogującymi był oceniany przez wielu badaczy (Anderson i in. 1981, Kicińska-Oszczak 1987, Manor i in. 1983, Potkonjak 1985, Shinnars i in. 1996). Odpowiedni dobór parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych maszyn zbierających może ograniczyć straty podbierania i formowania bel nawet jeżeli pozostałe czynniki determinujące straty są niekorzystne (np. wilgotność, stopień ulistnienia, długość źdźbeł, sposób formowania wału (Kicińska-Oszczak 1987, Machajewski 1979, Nowak 1988, Waszkiewicz i in. 2000). Można uznać, że wilgotność „bezpieczna” materiału to 28-30% (Pellizzi i Lisa 1979). Z zielonki bardziej wilgotnej (58,7%) uzyskuje się lepszej jakości kiszonkę w porównaniu do kiszonki z zielonki podsuszonej (52,4%) (Han i in. 2004). Wysoka prędkość robocza maszyn zbierających i niska wilgotność materiału przyczynia się do wzrostu strat ilościowych i jakościowych (zawartość białka ogólnego i włókna surowego) (Cavalchini 1976, Johnson i in. 1984). Bardzo istotnie na straty wpływa konstrukcja komory roboczej pras (Kogel i in. 1985b). Klasyczne prasy (formujące małe bele prostopadłościenne) powodują istotnie mniejsze straty w porównaniu do różnego typu pras zwijających, nawet przy zbiorze tak wrażliwej na uszkodzenia mechaniczne rośliny jaką jest lucerna. Formowanie beli z materiału rozdrobnionego wiąże się z większymi stratami w porównaniu do materiału nie rozdrobnionego (Borreani i Tabacco 2006).

Tabela 47 zawiera zestaw parametrów uwzględnianych w poszczególnych modelach matematycznych opisujących straty powstające w procesach towarzyszących produkcji siana i kiszonek.

Formuły matematyczne dobrane do wyznaczania natężenia oddychania czy strat suchej masy w wyniku oddychania tkanek roślin mają postać funkcji liniowych, logarytmicznych lub wykładniczych w zależności od uwzględnianych parametrów materiału skoszonego. Zastrzeżenia co do poprawności tych modeli dotyczą pewnych mankamentów zapisu równań, co skutkuje nieprawidłowym doбором współczynników. Mechanizm oddychania skoszonych roślin nie jest wystarczająco poznany, stąd dokładność szacowania strat przy pomocy opracowanych modeli nie jest zadawalająca.

Tabela 47. Parametry modeli matematycznych strat polowych związanych z produkcją siana i kiszzonek

Model matematyczny	Parametry uwzględnione w modelu	Numer równania w tekście pracy	Pozycje literatury
Straty oddychania	Wilgotność paszy, Temperatura powietrza	(8), (9), (10)	(112), (176), (286)
	Wilgotność paszy, temperatura powietrza, zawartość cukrów, strawność substancji organicznej, faza rozwoju wegetacyjnego roślin	(7)	(149)
	Wilgotność paszy, temperatura powietrza, faza rozwoju wegetacyjnego roślin	(13)	(194)
Straty wymywania	Wilgotność paszy, opady deszczu	(35), (36)	(18), (99)
	Opady deszczu	(39)	(46)
	Opady deszczu, zawartość rozpuszczalnych w wodzie składników paszy	(38)	(233)
	Zawartość substancji ścian komórkowych (przed i po opadach deszczu)	(40)	(75)
	Wilgotność paszy, wielkość i natężenie opadu deszczu	(47)	(250)
Straty wymywania poszczególnych składników pokarmowych	Wilgotność paszy, rodzaj paszy	(48), (49)	(234)
	Zawartość poszczególnych składników w paszy (przed i po opadach deszczu)	(41)	(75)
Straty oddychania i wymywania	Wilgotność paszy, rodzaj obróbki mechanicznej, rodzaj paszy	(46)	(257)
	Opady deszczu, zawartość cukrów, gęstość pokosu	(45)	(215)

Straty powodowane koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną	Prędkość obwodowa elementów roboczych zespołu kondycjonującego, typ elementów roboczych	(51), (52), (53)	(165)
	Rodzaj i faza rozwoju roślin, stopień ulistnienia roślin motylkowych (grubołodygowych), typ zespołu tnącego i kondycjonującego	(54)	(212)
Straty ścierniskowe	Prędkość robocza kosiarki bijakowej, rodzaj roślin, wilgotność roślin, zagęszczenie roślin, plon	(56), (57), (58), (59)	(146)
Straty powodowane przetrząsaniem	Wilgotność paszy, stopień ulistnienia roślin	(64)	(207)
	Wilgotność lucerny, stopień ulistnienia, plon suchej masy	(67), (68)	(213)
Straty powodowane zgrabianiem	Plon suchej masy lucerny (dla wilgotności w zakresie od 35-45% i prędkości roboczej zgrabarki $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)	(69)	(208)
	Wilgotność lucerny, plon suchej masy	(70)	(208)
	Wilgotność lucerny, stopień ulistnienia, gęstość pokosu	(71)	(207)
	Wilgotność lucerny, plon suchej masy, rodzaj zgrabarki	(65)	(27)
Straty wykruszania (bez start powodowanych formowaniem beli)	Wilgotność paszy, strawność substancji organicznej, rodzaj stosowanych operacji	(63)	(149)
Straty powodowane maszynami zbierającymi	Wilgotność paszy, gęstość powierzchniowa pokosu	(72)	(211)
	Wilgotność paszy, typ i budowa komory formowania beli prasy zbierającej	(73)	(133)
	Wilgotność zbieranej paszy	(74)	(29)

Table 47. Parameters of mathematical models of field losses connected with hay and silage production

Mathematical model	Parameters considered in model	Equation number in textbook	Reference number
Respiration losses	Moisture of forage, air temperature	(8), (9), (10)	(112), (176), (286)
	Moisture of forage, air temperature, content of sugars, organic matter digestibility, growth state of plants	(7)	(149)
	Moisture of forage, air temperature, growth stage of plants,	(13)	(194)
Leaching losses	Moisture of forage, rainfall amount	(35), (36)	(18), (99)
	Rainfall amount	(39)	(46)
	Rainfal amount, water soluble components content	(38)	(233)
	Concentration of cell wall constituents (before and after rainfall)	(40)	(75)
	Moisture of forage, amount and intensity of rainfall	(47)	(250)
	Moisture of forage, kind of forage	(48), (49)	(234)
Leaching losses of respective nutrients	Respective nutrients content in the forage (before and after rainfall)	(41)	(75)
	Moisture content, type of mechanical treatment, kind of forage	(46)	(257)
Respiration and leaching losses	Rainfall amount, sugar content, swath density	(45)	(215)
Losses caused by cutting and initial mechanical treatment	Peripheral velocity of working element of conditioning unit, type of working elements	(51), (52), (53)	(165)
	Growth stage of plants, legumes leaf fraction, type of cutting and conditionig unit	(54)	(212)

Stubble losses	Working velocity of flail mower, kind of plants, plants moisture content, plants density, yield	(56), (57), (58), (59)	(146)
Losses caused by tedding	Forage moisture content, forage leaf fraction,	(64)	(207)
	Alfalfa moisture content, alfalfa leaf fraction, alfalfa dry matter yield	(67), (68)	(213)
Losses caused by raking	Alfalfa dry matter yield (for moisture content range from 35% to 45% and 5 km h ⁻¹ working velocity of rake)	(69)	(208)
	Alfalfa moisture content, alfalfa dry matter yield	(70)	(208)
	Alfalfa moisture content, alfalfa leaf fraction, swath density	(71)	(207)
	Alfalfa moisture content, alfalfa dry matter yield, type of rake	(65)	(27)
Shatter losses (without losses caused by bale forming)	Forage moisture content, organic matter digestibility, kind of applied treatment	(63)	(149)
Losses caused by harvesting machines	Forage moisture content, swath areal density	(72)	(211)
	Forage moisture content, type and construction of bale forming chamber	(73)	(133)
	Forage moisture content	(74)	(29)

Podobny problem występuje w modelach strat wymywania. W przypadku procesu wymywania mamy do czynienia z tak dużą ilością czynników charakteryzujących warunki polowego suszenia oraz ogromne zróżnicowanie właściwości fizycznych i chemicznych pasz, że trudno się ustrzec przed pewnymi uproszczeniami w uogólnieniach wyrażonych matematycznie. Dlatego proponowane modele matematyczne są bardzo zróżnicowane i nie zawsze mogą znaleźć zastosowanie do bezpośredniego szacowania strat wymywania.

Mechanizm wtórnego nawilgacania zielonki można opisać za pomocą modelu skupionego dla określania ogólnej zawartości wody w suszonej paszy lub modelu rozdzielonego, który uwzględnia zmiany poszczególnych kategorii wody.

W oparciu o wyniki badań z kilku niezależnych eksperymentów nawilgacania paszy przeprowadzono symulacje komputerowe, które umożliwiły szacowanie stałych czasowych i parametrów równania określającego zawartość wody, co w konsekwencji pozwoliło na lepsze dopasowanie krzywych teoretycznych do empirycznych.

Ze względu na brak ścisłej metodyki badań strat koszenia i wstępnej obróbki mechanicznej zielonki oraz różnego definiowania pojęcia tego typu strat porównywanie wyników z poszczególnych eksperymentów jest utrudnione, a tym samym opracowane modele matematyczne odnoszą się do ściśle określonych warunków pomiaru i nie stanowią formuł ogólnych.

Modele matematyczne strat przetrząsania, zgrabiania i roztrząsania uwzględniają zawartość suchej masy jako głównego czynnika determinującego ich wartość. Niejednolita metodyka pomiarów eksperymentalnych i zróżnicowane warunki prowadzenia badań przyczyniają się także do zróżnicowania formuł matematycznych określających te straty

Niewielka ilość opracowanych modeli matematycznych określające straty powodowane maszynami zbierającymi odnosi się tylko do ścisłych warunków eksperymentów i określonych typów maszyn zbierających. Na przykład nie jest możliwe odniesienie modeli określających straty powstałe przy zbiorze prasami klasycznymi do funkcji wyznaczających straty przy zbiorze prasami zwijającymi.

7. PIŚMIENNICTWO

1. Akkharath I., Gupta M.L., Tullberg J.N., 1996. The influence of weather on the effectiveness of mechanical and chemical conditioning on drying rate of lucerne hay. *Grass and Forage Science*, 51(1), 96-102.
2. Anderson P.M., Kjelgaard W.L., Hoffman L.D., Wilson L.L., Harpster H.W., 1981. Harvesting practices and round bale losses. *Transactions of the ASAE*, 24(4), 841-842.
3. Atzema A. J., 1993. The effect of the weather on the drying rate of cut diploid and tetraploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and diploid hybrid ryegrass (*Lolium perenne* x *L. multiflorum*). *Grass and Forage Science*, 48(4), 362-368.

4. Avice J.C., Ourry A., Lemaire G.L., Volenec J.J., Boucaud J., 1997. Root protein and vegetative storage protein are key organic nutrients for alfalfa shoot regrowth. *Crop Science*, 37(4), 1187-1193.
5. Barr A.G., Brown D.M., 1995. Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay. 2. Model of forage drying. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76(1), 107-127.
6. Barr A.G., Smith D.M., Brown D.M., 1995. Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay. 1. Model of dry-matter and quality losses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76(1), 83-105.
7. Barrington G.P., Bruhn H.D., 1970. Effect of mechanical forage-harvesting devices on field-curing rates and relative harvesting losses. *Transactions of the ASAE*, 13(6), 874-878.
8. Barthram G.T., Elston D.A., Bolton G.R., 2000. A comparison of three methods for measuring the vertical distribution of herbage mass in grassland. *Grass and Forage Science*, 55(3), 193-200.
9. Bell C.C., Ritchie I.M., 1989. The effect of frequency and height of defoliation on the production and persistence of 'Grasslands Matura' prairie grass. *Grass and Forage Science*, 44(2), 245-248.
10. Bengtsson N., 1983. Spill vid strängläggning och upptagning av hö. *Meddelande*, 397, 1-40.
11. Berg F., Thimm H., 1987. Produkcja wysokojakościowego siana uzyskiwanego w wyniku suszenia naturalnego i sztucznego. *Międzynarodowe Czasopismo Rolnicze*, 6, 70-74.
12. Bernard J.K., West J.W., Trammell D.S., Cross G.H., 2004. Influence of corn variety and cutting height on nutritive value of silage fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2172-2176.
13. Beyer H., Vérosta B., 1965. Vliv rozřepeního řezu po cepovém sklizeči na obrůstani a výnos vojtěšky. *Zemědělská Technika*, 3, 147-160.
14. Binnie R.C., Chestnutt D.M.B., 1990. The effect of cutting systems on the yield of herbage from a small-plot experiment. *Grass and Forage Science*, 45(1), 113-116.
15. Binnie R.C., Chestnutt D.M.B., Murdoch J.C., 1980. The effect of time of initial defoliation and height of defoliation on the productivity of perennial ryegrass swards. *Grass and Forage Science*, 35(4), 267-273.
16. Binnie R.C., Harrington F.J., 1972. The effect of cutting height and cutting frequency on the productivity of an Italian ryegrass sward. *Journal of the British Grassland Society*, 27(3), 177-182.
17. Binnie R.C., Harrington F.J., Murdoch J.C., 1974. The effect of cutting height and nitrogen level on the yield, *in vitro* digestibility and chemical composition of Italian ryegrass swards. *Journal of the British Grassland Society*, 29(1), 57-62.
18. Bischoff T., Meuther R., Wandel H., 1979. Zur Mechanisierung der Entnahme und Vorlage von Heu. *Landtechnik*, 12, 554-559.
19. Black W.J.M., Alexander J.R.B., 1967. The effects of type of cutter and height of cutting on the recovery of four grass varieties. *Journal of the British Grassland Society*, 22(4), 260-263.
20. Boatman N.D., Haggart R.J., 1984. Effects of defoliation intensity on white clover seedling growth. *Grass and Forage Science*, 39(4), 395-399.
21. Bockstaele E.J., Behaeghe T.J., De Baets A.E., 1979. Studies on the field losses of wilting grass. *Proceedings of a Conference on Forage Conservation in the 80's*. Brighton UK. 205-209. Edited by C. Thomas.
22. Bonesmo H., 2000. Regrowth rates of timothy and meadow fescue as related to the content of remaining water-soluble carbohydrates and non-elongated tillers. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science*, 50(1), 22-27.

23. Borreani G., Tabacco E., 2006. The effect of a baler chopping system on fermentation and losses of wrapped big bales of alfalfa. *Agronomy Journal*, 98(1), 1-7.
24. Borreani G., Tabacco E., Ciotti A., 1999. Effects of mechanical conditioning on wilting of alfalfa and Italian ryegrass for ensiling. *Agronomy Journal*, 91(3), 457-463.
25. Brown R.H., Blaser R.E., 1965. Relationships between reserve carbohydrate accumulation and growth rate in orchardgrass and tall fescue. *Crop Science*, 5(6), 577-582.
26. Bruhn H.D., Koegel R.G., 1977. More usable protein per acre by a modified forage program. *Transactions of the ASAE*, 20(4), 653-656.
27. Buckmaster D.R., 1993. Alfalfa raking losses as measured on artificial stubble. *Transactions of the ASAE*, 36(3), 645-651.
28. Buckmaster D.R., Heinrichs A.J., 1993. Losses and quality changes during harvest and storage of preservative-treated alfalfa hay of varying moisture content. *Transactions of the ASAE*, 36(2), 349-353.
29. Buckmaster D.R., Rotz C.A., Black J.R., 1990. Value of alfalfa losses on dairy farms. *Transactions of the ASAE*, 33(2), 351-360.
30. Burger A.W., Jackobs J.A., Hittle C.N., 1962. The effect of height and frequency of cutting on the yield and botanical composition of smooth bromegrass and orchardgrass mixtures. *Agronomy Journal*, 54(1), 23-26.
31. Burns R.E., 1970. Yield and quality of different vertical layers of a Tall fescue sward. *Agronomy Journal*, 62(6), 803-804.
32. Buxton D.R., Hornstein J.S., Wedin W.F., Marten G.C., 1985. Forage quality in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil, and red clover. *Crop Science*, 25(2), 273-279.
33. Cavalchini A.G., 1976. Le nuove tendenze nella raccolta e imballatura dei foraggi: raccogli-imbaltatrici giganti e macchine tradizionali a confronto. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 3-4, 123-139.
34. Cavalchini A.G., Lazzari M., 1981. Meccanizzazione della raccolta, conservazione e distribuzione dei foraggi affienati. *Quaderno di sintesi n. 2. Accademia Nazionale di Agricoltura –Bologna*.
35. Charlick R.M., Holden M.R., Klinner W.E., Shepperson G., 1980. The use of preservatives in hay-making. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25(1), 87-97.
36. Cherney D.J.R., Cherney J.H., 2005. Forage yield and quality of temperate perennial grasses as influenced by stubble height. www.plantmanagementnetwork.org/pub/fg/research/2005/stubble.
37. Cilliers J.W., Vermaak L.M., Jaarsma J.J., Oosthuysen D., 1995. Relationship between chemical components of yield herbage and animal growth. *Animal Feed Science and Technology*, 53(1), 45-53.
38. Ciotti A., Cavallero A., 1979. Haymaking losses in cocksfoot, lucerne and a cocksfoot-lucerne mixture in relation to conditioning and degree of drying at harvest. *Proceedings of a Conference on Forage Conservation in the 80's. Brighton UK. 214-220. Edited by C. Thomas*.
39. Clark J., Kat C., Santhirasegaram K., 1974. The effects of changes in heights of cutting and growth on the digestible organic matter production and botanical composition of perennial pasture. *Journal of the British Grassland Society*, 29(4), 269-273.
40. Collins M., 1982. The influence of wetting on the composition of alfalfa, red clover, and birdsfoot trefoil hay. *Agronomy Journal*, 74(6), 1041-1044.
41. Collins M., 1983. Wetting and maturity effects on the yield and quality of legume hay. *Agronomy Journal*, 75(3), 523-527.

42. Collins M., 1990. Composition and yields of alfalfa fresh forage, field cured hay, and pressed forage. *Agronomy Journal*, 82(1), 91-95.
43. Cooper G., McGechan M.B., 1996. Implications of an altered climate for forage conservation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79(4), 253-269.
44. Corporaal J.H., van Schooten H., Spoelstra S.F., 1989. Invloed van toevoegmiddelen op de kwaliteit van slecht voorgedroogd kuilvoer. Rapport nr 119. Lelystad. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij.
45. Cox R., Parr T.W., Plant R.A., 1988. Water use and water-use efficiency of perennial ryegrass swards as affected by the height and frequency of cutting and seed rate. *Grass and Forage Science*, 43(1), 97-104.
46. Cunney M.B., von Barga K., 1982. Comparing hay harvest machinery by computer simulation. ASAE paper no. 74-1545. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
47. Curll M.L., Davidson J.L., 1983. Defoliation and productivity of a *Phalaris*-subterranean clover sward, and the influence of grazing experience on sheep intake. *Grass and Forage Science*, 38(3), 159-167.
48. Curran B., Posch J., 2000. Agronomic management of silage for yield and quality. *Silage cutting height*. *Crop Insights*, 10(2), 1-4.
49. Cusicanqui J.A., Lauer J.G., 1999. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal*, 91(6), 911-915.
50. Czernawski D.S., Romanowski J.M., Stiepanowa N.W., 1979. Co to jest biofizyka matematyczna? PWN. Warszawa.
51. Czernawski D.S., Romanowski J.M., Stiepanowa N.W., 1979. Modelowanie matematyczne w biofizyce. PWN, Warszawa.
52. Dale J.G., Holt D.A., Peart R.M., 1978. A model of alfalfa harvest and loss. ASAE Paper No. 78-5030. St. Joseph, MI: ASAE.
53. Davies A., 1974. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, 82(1), 165-172.
54. Del Duca L.J.A., Guarienti E.M., Fontaneli R.S., Zanotto D.L., 1999. Influência de cortes simulando pastejo na composição química de grãos de cereais de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(9): 1607-1614.
55. Del Pozo M., Osoro K., 1997. Effect of sward height and vertical distribution of clover on performance of cashmere goats in autumn. *Grass and Forage Science*, 52(3), 269-277.
56. Dernerde W., Honig H., 1979. Mähauflbereitung von wiesengras. *Landtechnik*, 34(5), 214-217.
57. Dernerde W., Wilschmen R., 1969. Heuwerbungsverluste durch Niederschläge bei gequetschten Gras. *Landbauforschung Völkenrode*, 19(1), 39-42.
58. Deshpande S.D., Sokhansanj S., Irudayaraj J., 2002. Effect of moisture content and storage temperature on rate respiration of alfalfa. *Biosystems Engineering*, 82(1), 79-86.
59. Dębska-Kalinowska Z., 1994. Wartość pokarmowa wybranych odmian 12 gatunków traw pastewnych w zależności od fazy fenologicznej, struktury masy nadziemnej i warunków siedliskowych. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
60. Di Marco O.N., Aello M.S., Nomdedeu M., van Houtte S., 2002. Effect of maize crop maturity on silage chemical composition and digestibility (in vivo, in situ and in vitro). *Animal Feed Science and Technology*, 99(1), 37-43.
61. Dominguez D.D., Moreira V.R., Satter L.D., 2002. Effect of feeding brown midrib-3 corn silage or conventional corn silage cut at either 23 or 71 cm on milk yield and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 85(Suppl. 1), 384 (Abstr.).

62. Dominguez D.D., Satter L.D., 2003. Feeding brown midrib-3 corn silage or conventional corn silage cut at either 20 or 66 cm of height to early lactation cow. *Journal of Dairy Science*, 86 (Suppl. 1), 231 (Abstr.).
63. Donaghy D.J., Fulkerson W.J., 1997. The importance of water-soluble carbohydrate reserves on regrowth and root growth of *Lolium perenne* (L.). *Grass and Forage Science*, 52(4), 401-407.
64. Douglas G.B., Robertson A.G., Chu A.C.P., Gordon I.L., 1994. Effect of plant age and severity of defoliation on regrowth of sheep's burnet during substrate moisture depletion. *Grass and Forage Science*, 49(3), 334-342.
65. Downs H.W., Taylor R.K., 1989. Varying cutting height to produce high-protein, low-fiber fractions from alfalfa. *Transactions of the ASAE*, 32(3), 787-790.
66. Dubas A., 1974. Wpływ intensywnego nawożenia azotem na plony i wartość pastewną kukurydzy kiszonkowej. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Prace habilitacyjne, zeszyt 51*.
67. Dubas A., Michalski T., 1991. Wpływ rozdrobnienia roślin kukurydzy zbieranej w różnych fazach dojrzałości na cechy ilościowe i jakościowe kiszonki. Cz. II. Plony i jakość kiszonki. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych LXXI*, 11-19.
68. Dulcet E., 2001. Nowoczesne techniki zbioru zielonek i metody ich zakiszania. Wyd. Uczelniane ATR w Bydgoszczy.
69. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., 1999. Wytrzymałość materiałów, tom 1. WNT. Warszawa.
70. Elliott J.G., Oswald A.K., Allen G.P., Haggard R.J., 1974. The effect of fertilizer and grazing on the botanical composition and output of an *Agrostis (Festuca)* sward. *Journal of the British Grassland Society*, 29(1), 29-35.
71. Fairbanks G.E., Fransen S.C., Schrock M.D., 1981. Machine made stacks compared with round bales. *Transactions of the ASAE*, 24(2), 281-283 i 287.
72. Falkowski M., 1983. Łąkarstwo i gospodarka łąkowa. PWRiL. Warszawa.
73. Filippek J., 1968. Zagęszczenie runi łąkowo-pastwiskowej w zależności od częstotliwości użytkowania kośnego. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 71-80.
74. Fisher G.E.J., Dowdeswell A.M., 1995. The effects of regrowth and maintenance height on a grass sward with a high density of tillers. *Grass and Forage Science*, 51(4), 464-468.
75. Fomesbeck P.V., Garcia M.M., Kaykay J.M., Saiady M.Y., 1986. Estimating yield and nutrients losses due to rainfall on field drying alfalfa. *Animal Feed Science and Technology*, 16(1-2), 7-15.
76. Frick R., 2002. Gezogene Aufbereiter im Vergleich. Gute Arbeitsqualität und tiefer Leistungsbedarf. *FAT Berichte*, 584, 1-12.
77. Frick R., Ammann H., 1999. Einsatz von intensivaufbereitern in der futterwerbung. *FAT Berichte*, 532, 1-19.
78. Frick R., Ammann H., 2000. Futterwerbung mit dem schwadwender. *FAT Berichte*, 545, 1-12.
79. Friesen O., 1979. Evaluation of hay and forage harvesting methods. *The Proceedings of the International Grain and Forage Harvesting Conference*. ASAE, Box. 410, 317-322. September 25-29, Joseph, MI.
80. 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.
81. Fulkerson R.S., Winch J.E., 1963. Progress Report of Forage Crop Investigations. Forage Management. Crop Science Department. OAC. University of Guelph. Ontario.
82. Fulkerson W.J., Slack K., 1995a. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 1. Effect of water-soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science*, 49(4), 373-377.

83. Fulkerson W.J., Slack K., 1995b. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and Forage Science*, 50(1), 16-20.
84. Fulkerson W.J., Slack K., Havilah E., 1999. The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *Tropical Grasslands*, 33(1), 138-145.
85. Gach S., 2003. Analiza i ocena sporządzania kiszonek z zielonek niskołodygowych. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. SGGW. Warszawa.
86. Gach S., 2005. Straty zielonki w technologii zbioru na kisonkę. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2, 53-63.
87. Gach S., Pintara Cz., 2000. Zbiór zielonek z zastosowaniem kondycjonerów. *Postępy Nauk Rolniczych*, 4, 65-76.
88. Gerighausen H. G., 1996. Intensiv aufbereiten oder zetzen? *Profi International*, 3, 66-67.
89. Gibb M.J., 1991. Differences in the vertical distribution of plant material within swards continuously stocked with cattle. *Grass and Forage Science*, 46(3), 339-342.
90. Gieroba J., Nowak J., 1983. Analiza strat w produkcji siana. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5, 65-72.
91. Gieroba J., Nowak J., 1991. Analiza strat w produkcji siana zbieranego prasami zwijającymi. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 33-45.
92. Gieroba J., Nowak J., 1992. Straty w produkcji siana powodowane opadami deszczu. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1, 71-82.
93. Gieroba J., Nowak J., Sawa J., 1995. Alternatywne technologie zbioru siana. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2, 103-115.
94. Gonzalez B., Boucaud J., Salette J., Langlois J., Duyme M., 1989. Changes in stubble carbohydrate content during regrowth of defoliated perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) on two nitrogen levels. *Grass and Forage Science*, 44(4), 411-415.
95. Grabowicz M., 1998. The influence of harvesting technology (mowing height) on the digestibility and nutritional value of ensilaged oat panicles. *Pol'nohospodárstvo (Agriculture)*, 44(8), 581-587.
96. Grabowicz M., Mikołajczak J., Piłat J., 1998. The influence of harvesting technology (mowing height) on nutritional value and quality of oat ensilages. *Pol'nohospodárstvo (Agriculture)*, 44(7), 545-551.
97. Greenhill W.L., 1959. The respiration drift of pasture plants during drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(9), 495-501.
98. Greenlees W.J., Hanna H.M., Shinnars K.J., Marley S.J., Bailey T.B., 2000. A comparison of four mower conditioners on drying rate and leaf loss in alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(1), 15-21.
99. Hadders G., 1986. A simple model of field curing of grass. Poster paper, AG ENG 86 International Conference. Nordwijkerhout- Netherlands.
100. Haigh P.M., 1994. A review of agronomic factors influencing grass silage effluent production in England and Wales. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 57(2), 73-87.
101. Hamer P.J.C., Knight A.C., McGechan M.B., Cooper G., 2000. Model for predicting the field drying characteristics of grass conditioned by maceration (severe treatment). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(3), 275-289.
102. Han K.J., Collins E.S., Vanzant E.S., Dougherty C.T., 2004. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage. *Crop Science*, 44(3), 914-919.
103. Harris C.E., Tullberg J.N., 1980. Pathways of water loss from legumes and grasses cut for conservation. *Grass and Forage Science*, 35(1), 1-11.

104. Hart R.M., Burton G.W., 1967. Curing coastal bermudagrass hay: effects of weather, yield and quality of fresh herbage on drying rate, yield, and quality of cured hay. *Agronomy Journal*, 59(4), 367-371.
105. Hayes M.J., Williams E.D., 1995. Effects of timing and intensity of defoliation on growth and development of white clover seedlings. *Grass and Forage Science*, 50(4), 414-423.
106. Hejnowicz Z., 1980. *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*. PWN. Warszawa.
107. Henderson A.R., 1973. Chemical changes during the ensilage of grass with particular reference to carbohydrates. PhD thesis. University of Edinburgh.
108. Hertwig F., Robowsky K.D., 1994. Hohe Energiekonzentration ist entscheidend. *Neue Landwirtschaft*, 8, 77-79.
109. Hides D.H., Lovatt J.A., Hayward M.V., 1983. Influence of stage maturity on the nutritive value of Italian ryegrass. *Grass and Forage Science*, 38(1), 33-38.
110. Hill A.C., Pack M.R., Transtrum L.G., Winters W.S., 1959. Effects of atmospheric fluorides and various types of injury on the respiration of leaf tissue. *Plant Physiology*, 34(2), 11-16.
111. Holmes W., 1989. *Grass: its production and utilization*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
112. Honig H., 1979. Mechanical and respiratory losses during pre-wilting of grass. Proceedings of a Conference on Forage Conservation in the 80's. Brighton UK. 201-204. Edited by C. Thomas.
113. Jackson M.A., Readman R.J., Huntington J.A., Sinclair L.A., 2004. The effects of processing at harvest and cutting height of urea-treated whole-crop wheat on performance and digestibility in dairy cows. *Animal Science*, 78(3), 476-476.
114. Jacniacki K., Kocan T., 1984. *Uprawa łąk i pastwisk*. PWRiL. Warszawa.
115. Jankowska-Hufleit H., Paluch B., Zastawny J., 1996. Przyczyny strat składników pokarmowych w procesie zbioru i konserwacji pasz z użytków zielonych. IMUZ Falenty.
116. Jatimiansky J.R., Gimenez D.O., Bujan A., 1997. Herbage yield, tiller number and root system activity after defoliation of prairie grass (*Bromus catharticus* Vahl). *Grass and Forage Science*, 52(1), 52-62.
117. Jelinowska A., Magnuszewska K., 1997. Plonowanie odmian tymotki w siewie jednogatunkowym i w mieszańkach z lucerną. *Biuletyn Oceny Odmian*, 29, 99-102.
118. Johnson D.G., Otterby D.E., Lundquist R.G., True J.A., Benson F.A., Smith R.E., Lindor L.K., Stommes R.C., 1984. Yield and quality of alfalfa as affected by harvesting and storage methods. *Journal of Dairy Science*, 67(10), 2475-2480.
119. Jones E.L., 1983. The production and persistency of different grass species cut at different heights. *Grass and Forage Science*, 38(2), 79-87.
120. Jones L., Harris C.E., 1979. Plant and swath limits to drying. Proceedings of a Conference on Forage Conservation in the 80's. Brighton UK. 53-60. Edited by C. Thomas.
121. Jones M., Lazenby A., 1988. *The grass crop. The physiological basis of production*. Chapman and Hall Ltd. London.
122. Kadzulis L., 1983. Efektywne użytkowanie łąk i pastwisk. *Międzynarodowe Czasopismo Rolnicze*, 3, 46-49.
123. Kanafojski Cz., Karwowski T., 1972. *Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. II*. PWRiL, Warszawa.
124. Keller O., Becker M., 1979. *Podstawy nauki żywienia zwierząt*. PWRiL. Warszawa.
125. Kennington L.R., Hunt C.W., Szasz J.I., Grove A.V., Kezar W., 2005. Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by beef heifers. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1445-1454.

126. Kerr J.A.M., Brown W.O., 1965. A comparison of nutrient losses in baled hay made from forage-harvested, crimped or tedded swards with those in barn-drying. *Journal of the British Grassland Society*, 20(3), 156-163.
127. Kicińska-Oszczak T., 1987. Badania kwalifikacyjne prasy zwijającej Z-263. Symbol dok. XVI/487. IBMER Warszawa.
128. King J., Lamb I.C., McGregor M.T., 1997. Regrowth of ryegrass swards subject to different cutting regimes and stocking densities. *Grass and Forage Science*, 34(2), 107-118.
129. Kjelgaard W.L., Anderson P.M., Hoffman L.D., Wilson L.L., Harpster H.W., 1981. Round baling from field practices through storage and feeding. *Proceedings of the XIV International Grassland Congress. Held at Lexington, Kentucky, U.S.A. June 15-24*, 657-660.
130. Klinner W.E., 1969. Untersuchungen mit verschiedenen Mähwerks- und Aufbereitungssystemen. *Grundlagen der Landtechnik*, 19(6), 202-208.
131. Klinner W.E., Shepperson G., 1975. The state of haymaking technology - a review. *Journal of the British Grassland Society*, 30(3), 259-266.
132. Koegel R.E., Straub R.J., Finner M.F., 1985a. Performance characteristics of an intermeshing disk cutterhead for forages. *Transactions of the ASAE*, 28(4), 1052-1055.
133. Koegel R.E., Straub R.J., Walgenbach R.P., 1985b. Quantification of mechanical losses in forage harvesting. *Transactions of the ASAE*, 28(4), 1047-1051.
134. Kraus T.J., Muck R.E., Koegel R.G., 1999. Effect of maceration on respiration of alfalfa. *Transactions of the ASAE*, 42(1), 5-10.
135. Kruczyńska H., Darul K., Nowak W., Kowalik I., 2001. The chemical composition and ruminal degradability of maize silages depending on the cultivar and mowing height at harvest. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 10, Supplement 2, 331-337.
136. Langer R.H.M., Steinke T.D., 1965. Growth of lucerne in response to height and frequency of defoliation. *The Journal of Agricultural Science*, 64(3), 291-294.
137. Lawrence T., 1973. Productivity of intermediate wheatgrass as influenced by date of initial cutting, height of cutting, and N fertilizer. *Canadian Journal of Plant Science*, 53(2), 295-301.
138. Lawrence T., Warder F.G., Ashford R., 1970. Effect of fertilizer nitrogen and clipping frequency on the crude protein content, crude protein yield and apparent nitrogen recovery of intermediate wheatgrass. *Canadian Journal of Plant Science*, 50(6), 723-730.
139. Lehmann B., Rodel G., Schurig M., 1992. Vergleich unterschiedlicher mähaufbereiter. *Proceedings of the International Conference "Trends in agricultural engineering"*. 311-317. Prague.
140. Lewis A.L., Cox W.J., Cherney J.H., 2004. Hybrid, maturity, and cutting height interactions on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal*, 96(1), 267-274.
141. Listowski A., 1985. Biologiczne podstawy produktywności roślin. IUNiG, Puławy.
142. Luger E., 1993a. Die eigenen versuche und die selbstgewonnenen erkenntnisse. *Forschungsberichte der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg*, Heft 39, III/1-III/32.
143. Luger E., 1993b. Mattentechnik Zusammenfassung. *Forschungsberichte der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg*, Heft 39, IV/1-IV/13.
144. Machajewski J., 1979. Badania testacyjne I i II stopnia przyczepy zbierającej T-050. Symbol dok. XVII/379. IBMER Warszawa.
145. Manor G., Batchelder D.G., Neuman A., McLaughlin G., 1983. Baling hay on paper to reduce leaf losses. *Transactions of the ASAE*, 26(3), 728-731.
146. Marszałek T., 1973. Analiza pracy kosiarek rotacyjnych. Praca doktorska. Instytut Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa.
147. Maynard L.A., Loosli J.K., 1967. Naukowe podstawy żywienia zwierząt. PWRiL. Warszawa.

148. McGechan M.B., 1988. Susceptibility to losses during mechanical silage and haymaking operations in relation to grass dry matter content. *Grass and Forage Science*, 43(4), 387-393.
149. McGechan M.B., 1989. A review of losses arising during conservation of grass forage: part 1, field losses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44(1), 1-21.
150. McGechan M.B., 1993. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 4. Measurement of leaching losses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55(1), 57-67.
151. McGechan M.B., Graham R., 1993. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 3. Laboratory investigation into the rewetting process. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55(1), 45-56.
152. McGechan M.B., Pitt R.E., 1990. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 2. Exploratory experiments into absorption and drying. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45(1), 69-76.
153. Melvin J.F., Simpson B., 1963. Chemical changes and respiratory drift during the air drying of ryegrass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14(4), 228-234.
154. Michalski T., 1987. Wpływ wysokości cięcia przy zbiorze na plony i wartość pastewną kiszonki z kukurydzy. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, CLXXXVI, 62-73.
155. Michalski T., 1989. Wpływ wysokości cięcia na plony i wartość pastewną kukurydzy zbieranej na kiszonkę. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 108A(2), 177-189.
156. Michalski T., 1997. Wartość pastewna plonów kukurydzy w zależności od sposobów i terminów zbiorów. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 450, 133-162.
157. Mieszkański L., 1982. Badania pneumatycznych ładowaczy materiałów łodygowych. Praca doktorska. AR w Lublinie.
158. Milthorpe F.L., Moorby J., 1979. Wstęp do fizjologii plonowania roślin. PWRiL.
159. Minakowski D., Kowalik T., Wolszczak J., 1978. Straty składników pokarmowych przy różnych sposobach konserwowania porostu łąkowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 216, 147-154.
160. Møller E., Skovborg E.B., 1971. Skårlægning og skarbehandling af graesmarksafgrøder til fortørring. *Baretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Planticultur*, 968, 483-497.
161. Monson W.G., Burton G.W., 1982. Harvest frequency and fertilizer effects on yield, quality, and persistence of eight bermudagrasses. *Agronomy Journal*, 74(2), 371-374.
162. Moraczewski R., 1986. Łąkarstwo. PWN, Warszawa.
163. Murdoch J.C., Bare D.J., 1960. The effect of mechanical treatment on the rate of drying and loss nutrients in hay. *Journal of the British Grassland Society*, 15(2), 94-99.
164. Murdoch J.C., Bare D.J., 1963. The effect of conditioning on the rate of drying and loss of nutrients in hay. *Journal of the British Grassland Society*, 18(4), 334-338.
165. Napieraj A., 1990. Analiza i dobór parametrów pracy spulchniacza pokosów. *Prace Naukowo Badawcze*, 1, 47-71, IBMER Warszawa.
166. Neimitz A., 1998. Mechanika pęknięcia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
167. Neylon J.M., Kung L., 2003. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2163-2169.
168. Nowak J., 1988. Badania technologii zbioru słomy i siana przyczepą stogującą. Rozprawa doktorska. AR w Lublinie.
169. Nowak J., 1991. Straty spowodowane oddychaniem roślin przy produkcji siana. *Postępy Nauk Rolniczych*, 4-5-6, 85-104.
170. Nowak J., 1992. Wpływ wysokości koszenia na ilość i jakość zbieranych pasz zielonych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2, 47-56.

171. Nowak J., 1993. Wpływ wysokości koszenia na zachowanie się paru gatunków traw. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 1, 11-15.
172. Nowak J., 2002a. Techniczne aspekty produkcji kiszonek z kukurydzy. Rolniczy Przegląd Techniczny, 6, 38-39.
173. Nowak J., 2002b. Postęp w budowie kosiarek. Rolniczy Przegląd Techniczny, 10, 52-55.
174. Nowak J., 2003. Kosiarki nowej generacji. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 10, 9-13.
175. Nowak J., Siuciak M., 1996. Kiszonka z kukurydzy. Technika Rolnicza, 5, 20-21.
176. Ohm A., 1972. Heating and drying processes in hay. Technische Hochschule, Delft.
177. Ollerenshaw J.H., Hodgson D.R., 1997. The effects of constant and varying heights of cut on the yield of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). The Journal of Agricultural Science, 89(2), 425-435.
178. Olszewska L., 1971. Wpływ wysokości koszenia na plony łąki ze zbiorowiskiem trzęślicowo-śmiałkowym. Roczniki Nauk Rolniczych, F-78(1), 117-135.
179. Olszewska L., Wielicka M., 1979. Dalsze uwagi nad zdolnością odrastania traw kępowych. Nowe Rolnictwo, 9, 14-16.
180. Olszewska L., Wielicka M., 1980. Niektóre obserwacje nad rozkrzewianiem się traw. Nowe Rolnictwo, 13, 15-17.
181. Olszewska L., Wielicka M., 1981a. Wpływ częściowego przykrycia ziemią na morfologię i anatomię odrastających pędów kępowych traw. Acta Agrobotanica, 34(1), 45-52.
182. Olszewska L., Wielicka M., 1981b. Rozgałęzianie się pędów nadziemnych u niektórych traw. Acta Agrobotanica, 34(1), 53-68.
183. Ostrowski R., Daczewska M., 1976. Porównanie jakości siana dosuszanego wentylatorami nie ogrzewanym powietrzem i suszonym na pokosach. Roczniki Naukowe Zootechniki, 3(1), 209-220.
184. Ostrowski R., Daczewska M., 1992. Wpływ różnych sposobów konserwowania traw na ich strawność i wartość pokarmową. Roczniki Naukowe Zootechniki (Monografie i Rozprawy), 31, 327-337.
185. Ostrowski R., Krempa T., Osieglowski S., Daczewska M., 1993. Wpływ stopnia przewodnictwa traw na jakość, strawność i wartość pokarmową kiszonek oraz straty suchej masy podczas konserwacji. Roczniki Naukowe Zootechniki (Monografie i Rozprawy), 32, 341-349.
186. Overvest J., 1979. Invloed van schudden en van opbrengst bij maaien op drogestofverliezen en droogverloop. Proefstation voor de Rundveehouderij, Report 66, Lelystad.
187. Owen J.G., Wilman D., 1983. Effects of the field drying of herbage on sward regrowth. Grass and Forage Science, 38(3), 205-208.
188. Parke D., Dumont A.G., Boyce D.S., 1978. A mathematical model to study forage conservation method. Journal of the British Grassland Society, 33(4), 261-273.
189. Parkes M.A., Greig D.M., 1974. The rate of respiration of wilted ryegrass. Journal of Agriculture Engineering Research, 19(3), 259-263.
190. Parsons A.J., Johnson I.R., Harvey A., 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. Grass and Forage Science, 43(1), 49-59.
191. Pellizzi G., Lisa L., 1979. Meccanizzazione della raccolta dei foraggi affienati. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, quaderno n. 8.
192. Peterson P.R., Sheaffer C.C., Jordan R.M., Christians C.J., 1994a. Responses of kura clover to sheep grazing and clipping. 1. Yield and forage quality. Agronomy Journal, 86(4), 655-660.

193. Peterson P.R., Sheaffer C.C., Jordan R.M., Christians C.J., 1994b. Responses of kura clover to sheep grazing and clipping. 2. Below-ground morphology, persistence, and total nonstructural carbohydrates. *Agronomy Journal*, 86(4), 660-667.
194. Pitt R.E., 1982. A probability model for forage harvesting. *Transactions of the ASAE*, 25(3), 559-55.
195. Pitt R.E., McGechan M.B., 1993. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 1. Lumped and distributed models of moisture fluctuation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45(1), 55-67.
196. Pizarro E.A., James D.B., 1972. Estimates of respiratory rates and losses in cut swards of *Lolium perenne* (S 321). *Journal of the British Grassland Society*, 27(1), 17-21.
197. Podkówka W., 1998. Kierunki w produkcji kiszonek i siana w Europie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 462, 25-39.
198. Podkówka W., Olszewski T., Kalisiewicz A., 1984. *Technologia produkcji siana*. PWRiL. Warszawa.
199. Potkonjak V., 1985. Prilog proučavanju spremanja sena lucerke baliranjem. *Savremena Poljoprivredna Tehnika*, 11(1-2), 15-22.
200. P Źnovskij I.I., Romanovič V.V., 1979. Dosušivanje sena aktivnym ventilirovaniem. Minsk. Uradžaj.
201. Raymond F., Redman P., Waltham R., 1986. *Forage conservation and feeding*. Farming Press Ltd. Ipswich.
202. Rees D.U.H., 1982. A discussion of sources of dry matter loss during the process of haymaking. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 27(6), 469-479.
203. Risser P.E., Koegel R.G., Shinnars K.J., Barrington G.P., 1985. Factors affecting wet strenght of macerated forage mats. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 711-715 i 721.
204. Robertson J.A., 1983. Influence of harvesting and conservation practices on forage quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 63(4), 913-925.
205. Robowsky K.D., Kaltofen H., Knabe O., 1977. Yield formation and carbohydrate content of *Lolium perenne* L. depending on nitrogen fertilization and cutting height. *Proceedings of the XIII International Grassland Congress*, 221-224. 18-27 May, Leipzig.
206. Roszkowski A., 1980. Wpływ techniki rolniczej na straty składników pokarmowych w czasie zbioru i konserwacji pasz. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 225, 69-85.
207. Rotz C.A., 1995. Loss models for forage harvest. *Transactions of the ASAE*, 38(6), 1621-1631.
208. Rotz C.A., Abrams S.M., 1988. Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage. *Transactions of the ASAE*, 31(2), 350-355.
209. Rotz C.A., Abrams S.M., Davis R.J., 1987. Alfalfa drying, loss and quality as influenced by mechanical and chemical conditioning. *Transactions of the ASAE*, 30(3), 630-635.
210. Rotz C.A., Davis R.J., Abrams S.M., 1991. Influence of rain and crop characteristics on alfalfa damage. *Transactions of the ASAE*, 34(4), 1583-1591.
211. Rotz C.A., Muck R.E., 1994. Forage quality, evaluation, and utilization. G. C. Fahey. Madison, Wis. American Society of Agronomy.
212. Rotz C.A., Pitt R.E., Muck R.E., Allen M.S., Buckmaster D.R., 1993. Direct-cut harvest and storage of alfalfa on the dairy farm. *Transactions of the ASAE*, 36(3), 621-628.
213. Rotz C.A., Savoie P.H., 1990. Economics of swath manipulation during the field drying of alfalfa. Paper 90-1049. ASAE, St. Josephs, MI.
214. Rotz C.A., Sprott D.J., Thomas J.W., 1984. Interaction of mechanical and chemical conditioning of alfalfa. *Transactions ASAE*, 27(4), 1009-1014.

215. Rucker G., Knabe O., 1977. Non-mechanical field losses in wilting grasses as influenced by different factors. Proceedings of the XIII International Grassland Congress, 1379-1381, Leipzig. Akademie-Verlag. Berlin.
216. Rucker G., Knabe O., 1983. Maßnahmen zur Verlustsenkung und Qualitätserhaltung beim Welken von Gräsern. *Feldwirtschaft*, 24(4), 174-176.
217. Ruszała M., 2001. Analiza strat polowych w produkcji siana. Praca magisterska. Wydział Techniki Rolniczej AR w Lublinie.
218. Safta J., Balan C., Nedelciuc C., 1969. Verteilung der Futtermenge und Futterqualität in Abhängigkeit von der Schnitthöhe der Luzerne. *Das wirtschaftseigene Futter*, 15(3), 245-248.
219. Salo M.L., Virtanen E., 1983. Influence of weather conditions during swath drying on the nutritive value of hay. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 55(1), 133-141.
220. Savoie P., 1982. The analysis of forage harvest, storage and feeding systems. Ph.D. thesis, Michigan State University, East Lansing.
221. Savoie P., 1988. Hay tedding losses. *Canadian Agricultural Engineering*, 30(1), 39-42, 1988.
222. Savoie P., 2001. Intensive mechanical conditioning of forages: A review. *Canadian Biosystems Engineering*, 43, 2.1-2.12.
223. Savoie P., Asselin N., Lajoie J., Tremblay D., 1997. Evaluation of intensive forage conditioning with a modified disk mower. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(6), 709-714.
224. Savoie P., Beauregard S., 1990. Hay windrow inversion. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(2), 138-142.
225. Savoie P., Beauregard S., 1991. Potential of forage juice extraction from macerated alfalfa mats. *Transactions of the ASAE*, 34(4), 1604-1608.
226. Savoie P., Beauregard S., Désilets D., 1992. Windrow inversion and climate influences on hay drying and quality. *Canadian Agricultural Engineering*, 34(1), 61-67.
227. Savoie P., Binet M., Choinière G., Tremblay D., Amyot A., Thériault R., 1993a. Development and evaluation of a large-scale forage mat maker. *Transactions of the ASAE*, 36(2), 285-291.
228. Savoie P., Chabot R., Tremblay D., 1993b. Loss and drying characteristics of forage mats after rainfall. *Transactions of the ASAE*, 36(6), 1533-1539.
229. Savoie P., Burgess L.R., Knight A.C., McGechan M.B., 1994. Drying and physical characteristics of matted ryegrass. *Grass and Forage Science*, 49(3), 257-263.
230. Savoie P., Parsch L.D., Rotz C.A., Brook R.C., Black J.R., 1985. Simulation of forage harvest and conservation on dairy farms. *Agricultural Systems*, 17(2), 117-131.
231. Savoie P., Roberge M., Lajoie J., Tremblay D., Lemay S.P., 1999. Intensive forage conditioning applied to a self-propelled mower. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(2), 107-115.
232. Savoie P., Roberge M., Tremblay D.: 1996. Quantification of mechanical forage conditioning by compressibility. *Canadian Agricultural Engineering*, 38(3), 157-165.
233. Savoie P., Rotz C.A., Bucholtz H.E., Brook R.C., 1982. Hay harvesting system losses and drying rates. *Transactions of the ASAE*, 25(3), 581-589.
234. Scarbrough D.A., Coblenz W.K., Humphry J.B., Coffey K.P., Sauer T.J., Jennings J.A., Daniel T.C., Turner J.E., Kellogg D.W., 2005. Evaluation of dry matter loss, nutritive value, and in situ dry matter disappearance for wilting orchardgrass and bermudagrass forages damaged by simulated rainfall. *Agronomy Journal*, 97(2), 604-614.

235. Scarbrough D.A., Coblenz W.K., Humphry J.B., Coffey K.P., Sauer T.J., Jennings J.A., Daniel T.C., Turner J.E., Kellogg D.W., 2004. Estimating losses of dry matter from simulated rainfall on bermudagrass and orchardgrass forages using cell wall components as markers. *Agronomy Journal*, 96(6), 1680-1687.
236. Scarbrough D.A., Coblenz W.K., Ogden R.K., Turner J.E., Humphry J.B., Coffey K.P., Daniel T.C., Sauer T.J., Jennings J.A., Kellogg D.W., 2006. Nitrogen partitioning and estimates of degradable intake protein in wilting orchardgrass and bermudagrass hays damaged by simulated rainfall. *Agronomy Journal*, 98(1), 85-93.
237. Schukking S., Overvest J., 1979. Direct and indirect losses caused by wilting. *Proceedings of a Conference on Forage Conservation 80's*. Brighton UK. 210-213. Edited by C. Thomas.
238. Shearer S.A., Turner G.M., Collins M., Peterson W.O., 1992. Effect of swath and windrow manipulation on alfalfa drying and quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 8(3), 303-307.
239. Shinnars K.J., Barrington G.P., Straub R.J., Koegel R.G., 1985. Forming mats from macerated alfalfa to increase drying rates. *Transactions of the ASAE*, 28(2), 374-377 i 381.
240. Shinnars K.J., Koegel R.G., Barrington G.P., Straub R.J., 1987a. Physical parameters of macerated alfalfa related to wet strength of forage mats. *Transactions of the ASAE*, 30(1), 23-27.
241. Shinnars K.J., Koegel R.G., Straub R.J., 1987b. Drying rates of macerated alfalfa mats. *Transactions of the ASAE*, 30(4), 909-912.
242. Shinnars K.J., Koegel R.G., Straub R.J., 1991. Leaf loss and drying rate of alfalfa as affected by conditioning roll type. *Applied Engineering in Agriculture*, 7(1), 46-49.
243. Shinnars K.J., Kraus T.J., Koegel R.G., Straub R.J., 1992. A crushing-impact macerator, beltless press forage mat formation machine. *International Conference on Agricultural Engineering. AGENG'92 Uppsala-Sweden*.
244. Shinnars K.J., Straub R.J., Huhnke R.L., Undersander D.J., 1996. Harvest and storage losses associated with mid-size rectangular bales. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(2), 167-173.
245. Simons R.G., Davies A., Troughton A., 1974. The effect of cutting height and mulching on aerial tillering in two contrasting genotypes of perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, 83(2), 267-273.
246. Simpson B., 1961. Effect of crushing on the respiratory drift of pasture plant during drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 12(10), 706-712.
247. Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Ferguson D.M.R., 2003. Effects of crop maturity and cutting height on the nutritive value of fermented whole crop wheat and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*, 81(2-3), 257-269.
248. Skrzyniarz H., 1981. Badania nad wpływem wysokości koszenia na odrastanie lucerny i strukturę morfologiczną szyjki korzeniowej. *Pamiętnik Puławski*, 75, 117-131.
249. Skrzyniarz H., 1990. Lucerna wieloletnia roślina pastewna. *Agrochemia*, 4, 10-11.
250. Smith D.M., Brown D.M., 1994. Rainfall- induced leaching and leaf losses from drying alfalfa forage. *Agronomy Journal*, 86(3), 503-510.
251. Spencer H.B., Lamond W.J., Graham R., Bowden P.J., Glasbey C.A., 1987. Silage wilting and hay drying trials (1986). *Departmental Note SIN/484*, Scottish Institute of Agricultural Engineering. Bush Estate, Penicuik Midlothian.

252. Spencer H.B., Lamond W.J., Graham R., Bowden P.J., Glasbey C.A., Haughey D.P., 1986a. Hay drying - a field trial comparing three different conditioners (1985). Departmental Note SIN/473, Scottish Institute of Agricultural Engineering. Bush Estate, Penicuik Midlothian. 1987.
253. Spencer H.B., Lamond W.J., Graham R., Glasbey C.A., Bowden P.J., Haughey D.P., 1986b. Silage wilting - a field trial comparing three different conditioners (1985). Departmental Note SIN/472, Scottish Institute of Agricultural Engineering. Bush Estate, Penicuik Midlothian. 1987.
254. Starzycki S., 1981. Koniczyny.: PWRiL. Warszawa.
255. Staszewski., 1975. Lucerny. PWRiL. Warszawa.
256. Stroh J.R., Law A.G., 1967. Effects of defoliation on the longevity of stand, dry matter yield and forage quality of tall wheatgrass, *Agropyron elongatum* (Host) Beauv. Agronomy Journal, 59(5), 432-435.
257. Sundberg M., Thylén A., 1994. Leaching losses due to rain in macerated and conditioned forage. Journal of Agricultural Engineering Research, 58(2), 133-143.
258. Suwarno M., Wittenberg K.M., McCaughey W.P., 1999. Comparative characteristics during wilting for alfalfa conditioned by maceration or by a conventional roller-conditioner. Canadian Journal of Animal Science, 79(4), 509-517.
259. Svensson K., 1979. Yield and quality losses in forage harvesting- some results of swedish experiments. The Proceedings of the International Grain and Forage Harvesting Conference. ASAE, Box. 410, 310-314. September 25-29, 1979. St. Joseph, MI.
260. Thornley J.H.M., 1976. Mathematical models in plant physiology. Academic Press.
261. Thorvaldsson G., 1989. Phenological development and nutritional value of timothy. Swedish Journal of Agricultural Research, 19(2), 73-76.
262. Thylén A., Sundberg M., 1994. Sensitivity of a mat hay-harvesting system to weather conditions. Report N. 94-D-163. AGENG'94. Milano.
263. Tolera A., Sondstøl F., 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. Animal Feed Science and Technology, 81(1-2), 1-16.
264. Tolera A., Sondstøl F., Said A.N., 1998. The effect of stage maturity on yield and quality of maize grain and stover. Animal Feed Science and Technology, 75(2), 157-158.
265. Tomka O., 1983. Użytkowanie łąk i pastwisk w Czechosłowacji. Międzynarodowe Czasopismo Rolnicze, 3, 42-45.
266. Toussaint B., Lambert J., 1973. Recolte des fourrages. Incidence des parties sur les couts de production. Centre de Recherches sur L'elevage et les productions fourrageres en Haute Belgique. Michamps.
267. Toussaint B., Vivier M., Lambert J., 1988. Variabilité de la composition des foin: exemples en Normandie et en Ardenne belge. Fourrages, 116, 379-394.
268. Tsang-Mui-Chung M., Verma L.R., 1982. Mechanical conditioning of ryegrass forage. Transactions of the ASAE, 25(4), 893-896.
269. van Elderen E., de Feijter J., van Hoven S.P.J.H., 1972. Moisture in grass swath. Journal of Agricultural Engineering Research, 72(3), 209-218.
270. van Riper G.E., Owen G.F., 1964. Effect of cutting height on alfalfa and two grasses as related to production, persistence, and available soil moisture. Agronomy Journal, 56(3), 291-295.

271. Vincent J.F.V., 1983. The influence of water content on the stiffness and fracture properties of grass leaves. *Grass and Forage Science*, 38(2), 107-114.
272. Vincent J.F.V., 1990. Fracture properties of plants. *Advances in Botanical Research*, 17(3), 235-287.
273. Volenee J.J., 1986. Nonstructural carbohydrates in stem base components of tall fescue during regrowth. *Crop Science*, 26(1), 122-127.
274. Walther K., Öztekin S., Wandel H., 1989. Halmfütterernte auf einen Tag verkürzt. *Landtechnik*, 44(4), 128-129.
275. Waszkiewicz Cz., Gach S., Klonowski J., 2000. Jakość pracy i nakłady energetyczne prasy zwijającej Z-543. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 8, 7-10.
276. Watson S.J., Nash M.J., 1971. Konserwowanie roślin pastewnych. PWRiL. Warszawa.
277. Weller R.F., Cooper A., Dhanoa M.S., 1995. The selection of winter wheat varieties for whole-crop cereal conservation. *Grass and Forage Science*, 50 (1), 172-177.
278. Wilkinson J.M., 2005. *Silage*. Chalcombe Publications. Lincoln.
279. Wilkinson J.M., Hill J., Leaver J.D., 1999. Effect of swath treatment on water loss during field-wilting and on feeding value of perennial ryegrass silage. *Grass and Forage Science*, 54(3), 227-236.
280. Wilkinson R.H., Hall C.W., 1966. Respiration heat of harvested forage. *Transactions of the ASAE*, 9(3), 424-427.
281. Wilkinson S.R., Adams W.E., Jackson W.A., 1970. Chemical composition and *in vitro* digestibility of vertical layers of Coastal bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.). *Agronomy Journal*, 62(1), 39-43.
282. Wilman D., Shrestha S.K., 1985. Some effects of canopy height on perennial ryegrass and white clover in a field sward. *The Journal of Agricultural Science*, 105(1), 79-84.
283. Woledge J., Reyneri A., Tewson V., Parsons A.J., 1992. The effect of cutting on the proportions of perennial ryegrass and white clover in mixtures. *Grass and Forage Science*, 47(2), 169-179.
284. Wolf D.D., Carson E.W., 1973. Respiration during drying alfalfa herbage. *Crop Science*, 13(3), 660-662.
285. Wood J.G.M., 1972. Letter to the editor. *Journal of the British Grassland Society*, 27(3), 193-194.
286. Wood J.G.M., Parker J., 1971. Respiration during the drying of hay. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 179-191.
287. Wright D.A., Frost J.P., Kilpatrick D.J., 2000. The influence of weather factors on the drying rate of cut perennial ryegrass herbage under controlled conditions. *Grass and Forage Science*, 55(4), 331-342.
288. Wu Z., Roth G., 2001. Considerations in managing cutting height of corn silage. www.das.psu.edu.
289. Zastawny J., 1993. Wartość pokarmowa różnie konserwowanych pasz objętościowych z użytków zielonych w świetle badań chemicznych i zootechnicznych. *Rozprawa habilitacyjna*. IMUZ Falenty.
290. Zastawny J., Paluch B., Zaroda W., Jankowska-Hufleit H., 1997. Najnowsze kierunki badań w zakresie zbioru i konserwacji pasz w świetle XI Międzynarodowej Konferencji Kiszonkarskiej w Aberystwyth. *Przegląd Hodowlany*, 6, 13-19.
291. Zimmer E., 1967. Futterkonservierung, Garheuchemie und Grundlagen. *Jahresbericht. Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig – Völkenrode*.
292. Zurzycki J., Michniewicz M., 1977. *Fizjologia roślin*. PWRiL. Warszawa.
293. Żurek J., 1995. Czynniki agrotechniczne warunkujące strawność stokłosy unilowatej i kostrzewy trzcinowej. *Praca doktorska*. IUNG Puławy.

8. STRESZCZENIE

Jednym z ważniejszych czynników intensyfikacji produkcji zwierzęcej jest zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości pasz objętościowych, a w szczególności siana i kiszonek.

W pracy dokonano przeglądu wyników badań dotyczących źródeł powstawania strat podczas polowego suszenia zielonek przeznaczanych na siano lub kiszonki. Źródłem analiz były wyniki badań prowadzonych przez ośrodki naukowo-badawcze na całym świecie, w tym i badań własnych. Analizowano nie tylko czynniki decydujące o stratach, ale także modele matematyczne uogólniające wpływ wpływ wielu czynników na te straty.

W pierwszej kolejności dokonano analizy wpływu wysokości i częstotliwości koszenia na ilość i jakość zebranych pasz zielonych. Dobór właściwej wysokości koszenia pozwala z jednej strony na utrzymanie w dobrym stanie plantacji, a z drugiej strony na uzyskanie wysokich plonów w okresie wegetacji.

Następnie omówiono czynniki wpływające na straty oddychania podczas polowego suszenia pasz zielonych na siano. Rozważano zarówno wpływ warunków atmosferycznych, jak i rodzaju stosowanych zabiegów mechanicznych przyspieszających proces suszenia. Przedstawiono także modele matematyczne uwzględniające wpływ temperatury i wilgotności skoszonego materiału na intensywność oddychania skoszonych roślin oraz ubytki suchej masy.

W dalszej części pracy omówiono wpływ opadów deszczu na wielkość strat składników pokarmowych, zmiany składu chemicznego i strawności siana oraz ubytki suchej masy. Zaprezentowano dwa modele matematyczne opisujące proces wtórnego nawilgacania pokosów. Pierwszy model dotyczy zmian ogólnej zawartości wody w suszonej paszy. Drugi model uwzględnia zmiany poszczególnych kategorii wody podczas nawilgacania paszy opadami deszczu. Porównano wyniki symulacji komputerowych zmian zawartości wody w zielonce z wynikami eksperymentalnymi.

Zasadniczą część pracy poświęcono omówieniu wpływu stosowania różnych technologii, rodzaju zabiegów mechanicznych oraz sposobu zbioru na straty suchej masy i składników pokarmowych. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ zespołów tnących (nożycowe, rotacyjnych z poziomą lub pionową osią obrotu elementów roboczych) na straty ścierniskowe oraz rozdrabnianie ścinanych roślin. Przeanalizowano także wpływ obróbki mechanicznej (kondycjonowanie, maceracja, roztrząsanie, przetrząsanie) na straty ilościowe i jakość otrzymywanej paszy. Przedstawiono modele matematyczne strat powodowanych koszeniem i wstępną obróbką mechaniczną w zależności od rodzaju i stadium rozwoju ścinanych roślin oraz typu zespołu tną-

cego i kondycjonującego. W tych analizach uwzględniono także wpływ rodzaju koszonego materiału, terminu zbioru oraz typu wykorzystywanych maszyn i ich parametrów konstrukcyjno – eksploatacyjnych na straty ilościowe i jakościowe

Słowa kluczowe: siano, kiszonka, straty oddychania, straty wymywania, straty mechaniczne

9. SUMMARY

FIELD LOSSES IN HAY AND SILAGE PRODUCTION

One of the most important factors of animal production intensification is the supply of a proper quantity and quality of roughages, especially hay and silage.

The paper is a survey of research results concerning the sources of losses during field drying of green forage for hay or silage. The analyses were based on research results from scientific centres all over the world as well as the author's own research. Not only the loss factors were analysed, but also mathematical models which generalize the influence of many factors on the losses. Firstly, an analysis was made of the influence of height and frequency of cutting on the quantity and quality of harvested green forage. The choice of a proper cutting height allows both to maintain the plantation in a good state and to obtain high yields during vegetation. Next, the factors were discussed that affect respiration losses during field drying of green forage for hay. Atmospheric conditions were considered, as well as the kind of mechanical processes applied in order to enhance forage drying rate. Also, mathematical models were presented taking into consideration the influence of temperature and moisture of the harvested material on the intensity of respiration of the cut plants and on dry matter losses.

Further considerations involved the influence of rainfall on the level of nutrient losses, changes in the chemical composition and digestibility of hay, as well as dry mass losses.

Two mathematical models were presented, describing the process of rewetting of swaths. The first one concerns changes of general water content in the dried fodder. The second model takes into consideration changes of particular water categories during fodder rewetting from rain. The results of computer simulations of water content changes in green forage were compared to experimental results.

The essential part of the paper is devoted to discussion of the influence of the application of different technologies, kinds of mechanical treatments, and way of harvesting on dry mass and nutrient losses. Special attention was paid to the in-

fluence of cutting units (knife cutting, cutting rotors with horizontal or vertical axis of rotation of working elements) on stubble losses and crushing of the cut plants. Also, analysis was performed of the influence of mechanical treatment (conditioning, maceration, tedding, spreading) on quantitative and qualitative losses of the obtained fodder. Mathematical models were presented of losses caused by cutting and initial mechanical treatment, depending on the kind and growth stage the cut plants and on the type of cutting and conditioning units. These analyses also take into consideration the influence of the kind of cutting material, harvest term, as well as the type of applied machines and their design-operation parameters on quality and quantity losses.

Keywords: hay, silage, respiration losses, leaching losses, mechanical losses

Adresy autorów:

Janusz Nowak
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania w Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
e-mail: janusz.nowak@ar.lublin.pl
tel. (081) 445 61 35

Małgorzata Bzowska-Bakalarz
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Akademia Rolnicza
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin

Wojciech Przystupa
Katedra Zastosowań Matematyki
Akademia Rolnicza
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin