

Ocena przydatności słomy wybranych gatunków i odmian zbóż oraz traw wieloletnich do produkcji słomek do napojów

Evaluation of the usefulness of straw from selected species and varieties of cereals and perennial grasses for the production of drinking straws

Grzegorz Żurek  , Danuta Martyniak  , Monika Żurek 

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Rośli – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

 g.zurek@ihar.edu.pl

Badano przydatność słomy różnych odmian zbóż i traw wieloletnich do produkcji słomek do napojów. Oceniono łącznie 19 różnych genotypów, z których 12 to gatunki zbóż, a 4 to trawy wieloletnie. Przeprowadzono pomiary długości pędu, liczby międzywęźli oraz wymiarów międzywęźli (długość i średnica) dla każdego z badanych genotypów. Aby wyodrębnić najbardziej przydatne odmiany do produkcji słomek, przyjęto dwa kryteria dotyczące wymiarów surowca: minimalna długość słomki (co najmniej 20 cm) oraz minimalna średnica słomki (4 mm). Parametry te odpowiadają normom dla słomek z polipropylenu. Analizy statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie badanych odmian pod względem tych parametrów. Niektóre odmiany zbóż i traw wieloletnich nie spełniały wymagań dotyczących długości i średnicy słomki. Z kolei, kilka odmian zbóż i traw, było szczególnie przydatne do produkcji słomek. Odmiany zbóż takie jak np. owies ozimy RADZIO, pszenica ozima: DAŃKOWSKA GRANIATKA oraz NADWIŚLANKA czy odmiana prosa różgowatego MARDAN charakteryzowały się wysokim udziałem międzywęźli spełniających wymagania jakościowe. Średnica międzywęźla była kluczowym parametrem decydującym o przydatności słomy do wytwarzania słomek do napojów.

Słowa kluczowe: zboża, trawy, międzywęźla, alternatywa dla plastiku

The evaluation of the suitability of straw from different varieties of cereals and grasses for the production of beverage straws was studied. Tests were conducted on a total of 19 different genotypes, of which 12 were cereal species and four were perennial grasses. Measurements of shoot length, number of internodes and internode dimensions (length and diameter) were carried out for each of the genotypes tested. In order to distinguish the most useful varieties for straw production, two criteria were adopted for the dimensions of the raw material: minimum straw length (at least 20 cm) and minimum straw diameter (4 mm). These parameters correspond to standards for polypropylene straws. Statistical analyses showed significant variation among the tested varieties in terms of these parameters. Some tested varieties of cereals and grasses did not meet the requirements for straw length and diameter. In contrast, several cereal and grass varieties were found to be particularly suitable for straw production. Cereal varieties such as, for example, RADZIO winter oats, DAŃKOWSKA GRANIATKA and NADWIŚLANKA winter wheat, and the MARDAN variety of switch millet were characterized by a high proportion of internodes meeting quality requirements. The diameter of the internode was a key factor influencing the suitability of the straw for making beverage straws.

Key words: cereals, grasses, internodes, plastic alternatives

Wstęp

Nadprodukcja plastiku i jego negatywny wpływ na środowisko są obecnie poważnymi problemami naszej cywilizacji, które mają szerokie konsekwencje dla ekosystemów, zwierząt i ludzi. Według Hansa Petera Arpa, profesora chemii na Norweskim Uniwersytecie Nauki i Technologii, zanieczyszczenie tworzywami sztucznymi już przekroczyło tzw. granicę planetarną, co oznacza zagrożenie dla ludzkości (Harrabin, 2022).

Plastik jest materiałem trudnym do utylizacji i recyklingu, gdyż z reguły nie jest biodegradowalny i rozkłada się bardzo powoli, co prowadzi do gromadzenia się odpadów plastikowych na składowiskach i wysypiskach śmieci (Shah i in., 2008; Jadaun i in., 2022). Ponadto, nieefektywne systemy recyklingu, brak infrastruktury i niewłaściwe postępowanie z odpadami plastikowymi przyczyniają się do dalszego zanieczyszczenia

środowiska. Co więcej, produkcja i utylizacja plastiku wiążą się z emisją gazów cieplarnianych, które przyczyniają się do zmiany klimatu (Chia i in., 2023; Sharma i in., 2023).

Skala problemu produkcji odpadów plastikowych jest tak duża, że powstała w 2018 r. dyrektywa UE zakazująca sprzedaży jednorazowego plastiku (w tym słomek) od 2021 roku (dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2019/904 z 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko – zwana dyrektywą SUP) (EC, 2018). W Polsce, na mocy ustawy z dnia 9 maja 2023 (Dz. U. z 2023, poz. 877), implementującej przepisy powyższej dyrektywy, zakazane jest stosowanie 9 rodzajów produktów zawierających plastik takich jak np. jednorazowe sztućce (widelce, noże, łyżki, pałeczki); jednorazowe talerze oraz słomki z tworzyw sztucznych.

Jednym z możliwych działań jest zastępowanie produktów plastikowych, produktami z materiałów w pełni biodegradowalnych. Przykładem mogą tu być jednorazowe słomki z plastiku do picia napojów, które są od lat w powszechnym użyciu. W samej tylko UE średnio rocznie zużywa się ponad 36 mld słomek, z tego 1,2 mld w Polsce. Szacuje się, że ich rozkład trwa ok. 450 lat. Pomimo iż, zarówno pod względem ilości jak i objętości, udział jednorazowych słomek jest niewielki w ogólnej ilości odpadów to są one uważane za symbol skutków środowiskowych nieograniczonego używania przedmiotów jednorazowych wykonanych z plastiku (Wagner i Toews, 2018).

Alternatywą dla słomek z plastiku są słomki z innych, biodegradowalnych materiałów. W praktyce są słomki ze: szkła, metalu, bambusa, papieru, mączki kukurydzianej, makaronu, jabłek i zbóż, a przede wszystkim z naturalnej słomy (Jansson i in. 2020). Słomki wykonane ze słomy są w pełni naturalne, biodegradowalne, a także nie rozpuszczają się i nie namiękają w czasie korzystania z nich.

Wprowadzenie słomek ze słomy jako zamiennika dla plastikowych słomek do napojów to krok w kierunku bardziej zrównoważonej i ekologicznej przyszłości. W roku 2021, na podstawie umowy nr 000550.DDD.6509.00109.2019.13, zawartej

z Agencją Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa rozpoczęła swoją działalność Grupa Operacyjna ‘Słomka ze Słomy’, działająca w oparciu o środki przyznane w konkursie Działanie Współpraca. W skład Konsorcjum realizującego operację pt.: „Opracowanie innowacyjnej produkcji słomek ze słomy do różnych napojów” weszły następujące podmioty: Świętokrzyski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Modliszewicach (lider Grupy), Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, PIB w Radzikowie, Instytut Technologiczno – Przyrodniczy, PIB w Falentach, przedsiębiorca Grzegorz Cuch Usługi Spawalnicze oraz rolnik Zdzisław Wiklak.

Celem niniejszego opracowania, będącego efektem fragmentu działań w ramach powyższego projektu, jest zaprezentowanie potencjalnych możliwości wybranych gatunków i odmian zbóż oraz traw wieloletnich w zakresie wykorzystania ich słomy do produkcji słomek do napojów.

Material i metoda

Do badań wykorzystano łącznie 19 obiektów w tym 12 w grupie zbóż oraz 4 w trawach wieloletnich (tab. 1). Obiekty do badań typowano na podstawie poczynionych uprzednio obserwacji własnych oraz informacji uzyskanych od hodowców bądź osób prowadzących prace z tymi formami.

Tabela 1
Table 1

Wykaz zastosowanych odmian zbóż oraz traw
List of used varieties of cereals and grasses

Lp. / No.	Rodzaj, gatunek / Genus, species	Nazwa odmiany, rodu, formy / Name of cultivar, breeding family, form
Zboża / cereals		
1	owies ozimy	<i>Avena sativa</i> L. RADZIO
2	owies ozimy	<i>Avena sativa</i> L. ród 5Q
3	owies ozimy	<i>Avena sativa</i> L. WILAND
4	pszenica jara	<i>Triticum aestivum</i> L. MERKAWA
5	pszenica orkisz	<i>Triticum spelta</i> L. ZOLLERNPERLE
6	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. ALMARI
7	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. DAŃKOWSKA GRANIATKA
8	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. KWS LIVIUS
9	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. NADWIŚLANKA
10	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. OSTKA GRODKOWICKA
11	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. OSTKA GRUBOZIARNISTA GRODKOWICKA
12	pszenica ozima	<i>Triticum aestivum</i> L. TOBAK
13	pszenżyto	<i>x Triticosecale</i> Wittm. MEDALION
14	pszenżyto	<i>x Triticosecale</i> Wittm. MELOMAN
15	pszenżyto	<i>x Triticosecale</i> Wittm. TORNADO
Trawy wieloletnie / perennial grasses		
1	perz wydłużony	<i>Elymus elongatus</i> (Host.) Run. TIMPOL
2	proso różgocate	<i>Panicum virgatum</i> L. MARDAN
3	spartina preriowa	<i>Spartina pectinata</i> Link forma
4	stokłosa bezostna	<i>Bromus inermis</i> Leyss. TIMEXA

Słomę do badań pozyskiwano w latach 2019-2020 z istniejących już w IHAR-PIB poletek doświadczalnych wymienionych wyżej odmian. Słomę zbóż pobierano z poletek doświadczalnych w Zakładzie Doświadczalnym IHAR-PIB w Grodkowicach. Gleby na terenie tego Zakładu należą do gleb brunatnych o podłożu lessowym, ciężkich, poletka doświadczalne założono na polu klasy R IIIa o kompleksie przydatności rolniczej 2. Odczyn gleby (pH) wynosił 6,7, zawartość azotu ogólnego – 55,7 mg·100 g⁻¹ gleby, zawartość fosforu (w formie P₂O₅) – 11,4 mg·100 g⁻¹ gleby a potasu (w formie K₂O) – 22,0 mg·100 g⁻¹ gleby. W sezonie wegetacyjnym, w którym pobierano słomę zastosowano nawożenie mineralne, gdzie dawka azotu (140 kg·ha⁻¹) została podana w 3 dawkach w momencie ruszenia wegetacji, w fazie strzelania w źdźbło oraz w fazie kłoszenia. Pozostałe składniki mineralne (P₂O₅ – 60 kg·ha⁻¹; K₂O – 90 kg·ha⁻¹; CaO – 450 kg·ha⁻¹) podano przedsięwzięciem. Zastosowane środki chemiczne: herbicyd - Mustang 306 SE – 0,6 l i Sekator 125 OD – 0,25 l; fungicyd - pierwszy zabieg - Tilt Turbo 575 EC 1l, fungicyd - drugi zabieg Capalo 337,5 SE – 2l.

Słomę traw wieloletnich pozyskiwano z poletek w Radzikowie. Gleba, na której rosły odmiany traw wieloletnich to glina piaszczysta, o pH 5,8, oraz zawartości azotu 26,8 mg·100 g⁻¹ gleby, zawartość fosforu (w formie P₂O₅) – 65,3 mg·100 g⁻¹ gleby a potasu (w formie K₂O) – 39,1 mg·100 g⁻¹ gleby. Przed siewem bądź sadzeniem roślin w pole zastosowano nawożenie mineralne w ilości N – 100 kg·ha⁻¹, P₂O₅ – 55 kg·ha⁻¹ oraz K₂O – 90 kg·ha⁻¹. W kolejnych latach wegetacji nie stosowano nawożenia.

Badane odmiany zbóż rosły na poletkach o powierzchni ok. 10 m², natomiast poletka traw wieloletnich, w zależności od gatunku miały od 20 (stokłosa bezostna) do 50 m² (pozostałe gatunki). Z wymienionych powyżej poletek w sposób losowy pobierano po 10 łodyg wraz z kwiatostanami, na których wykonano następujące pomiary: długości pędu, liczby międzywęźli, długości każdego z międzywęźli oraz jego szerokości.

Dla wyodrębnienia odmian najbardziej przydatnych do wytwarzania słomek przyjęto dwa parametry określające oczekiwane wymiary surowca tj. długość słomki z międzywęźla – co najmniej 20 cm oraz minimalną średnicę słomki – 4 mm. Parametry te występują jako minimalne wymagania dla słomek do napojów według normy dla słomek z polipropylenu (ISO 18188:2016). Określono następnie udział międzywęźli, łączących w sobie te dwie cechy, w ogólnej liczbie przebadanych w każdej formie i wyrażono go w procentach jako udział międzywęźli efektywnych (ME).

Analizy statystyczne przeprowadzono przy pomocy pakietu STATISTICA® (StatSoft, 2014),

o istotności statystycznej korelacji wnioskowano z prawdopodobieństwem ponad 99%.

Wyniki

Charakterystyka warunków pogodowych

W Grodkowicach, wiosną 2019 roku, warunki pogodowe nie były sprzyjające optymalnemu rozwojowi zbóż ozimych (rys. 1). Wczesna wiosna charakteryzowała się niską ilością opadów i relatywnie wysokimi temperaturami. Jednakże, kwiecień i maj przyniosły obfite opady deszczu, przy jednoczesnym utrzymaniu temperatur na poziomie średniej wieloletniej. W okresie dojrzewania zbóż i zbiorów, który przypadał na czerwiec i lipiec, warunki były niekorzystne, z niską ilością opadów i stosunkowo wysokimi temperaturami. Pozostała część roku 2019 charakteryzowała się obfitymi opadami deszczu i względnie wysokimi temperaturami, co stworzyło dogodne warunki dla jesienno-siewu. W roku 2020, wiosna ponownie przyniosła warunki surowe i chłodne, a maj był szczególnie zimny, o 3,1°C chłodniejszy od średniej wieloletniej. W tym samym czasie występowały znaczne opady deszczu, osiągając około 200% średniej wieloletniej. Czerwiec i lipiec wyróżniały się temperaturami na poziomie wielolecia oraz były dość suche.

W przypadku Radzikowa, gdzie pobierano próby słomy traw, sezon wegetacyjny 2019 charakteryzował się ilością opadów na poziomie średniej wieloletniej, przy temperaturze o 2,3°C wyższej od średniej. Wrzesień i październik 2019 roku były okresem suchym, natomiast zima 2019/2020 przyniosła obfite opady deszczu. Wiosna 2020 była ponownie sucha, ale temperatury utrzymywały się na poziomie średniej wieloletniej. Sezon wegetacyjny 2020 charakteryzował się obfitymi opadami deszczu, które były o 20% wyższe od średniej wieloletniej, a czerwiec przyniósł aż 232% tej średniej.

Charakterystyka badanych cech

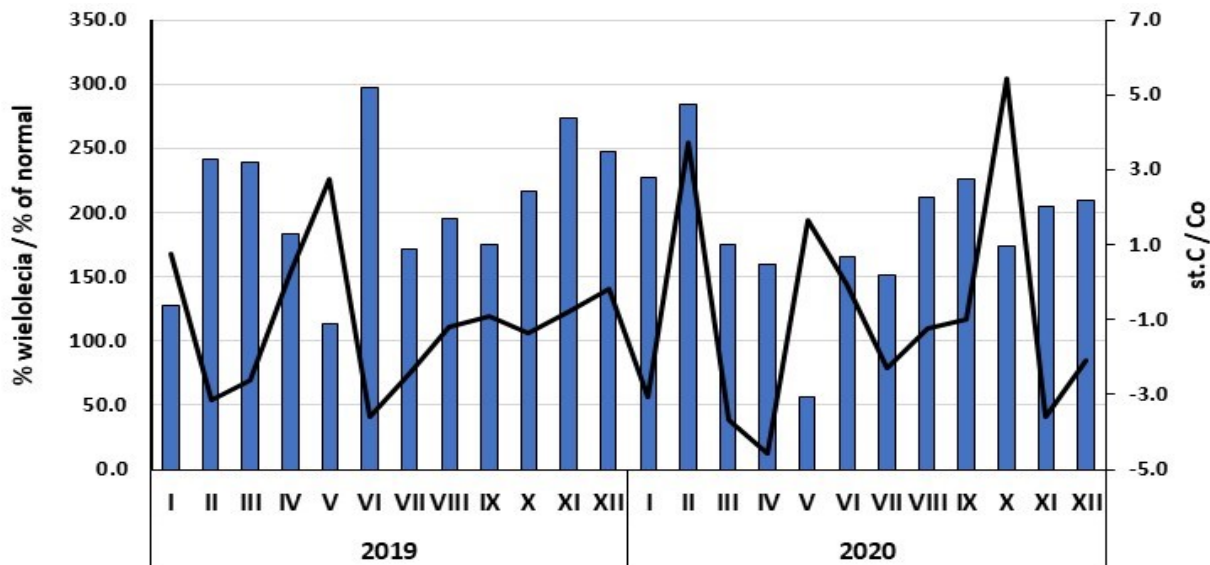
W badanej grupie obiektów stwierdzono znaczne zróżnicowanie pod względem potencjalnej przydatności do produkcji słomek o oczekiwanych parametrach (tab. 2). Wśród badanych form zbóż dwie (pszenica jara MERKAWA oraz orkisz ZOLLERNPERLE) były całkowicie nieprzydatne (brak ME) a dwie kolejne (pszenica ozima OSTKA GRUBOZIARNISTA GRODKOWICKA oraz pszenżyto MEDALION) przydatne zaledwie w niewielkim stopniu (5% ME). W grupie traw nieprzydatne okazały się odmiany: TIMEXA stokłosa bezostnej oraz TIMPOL perzu wydłużonego.

Z kolei najbardziej przydatne do produkcji słomek spośród badanych odmian zbóż okazały się odmiany: owsa ozimego RADZIO, pszenicy ozimej DANKOWSKA GRANIATKA, NADWIŚLANKA oraz OSTKA GRODKOWICKA. Obliczone wartości ME wynosiły dla tych odmian od-

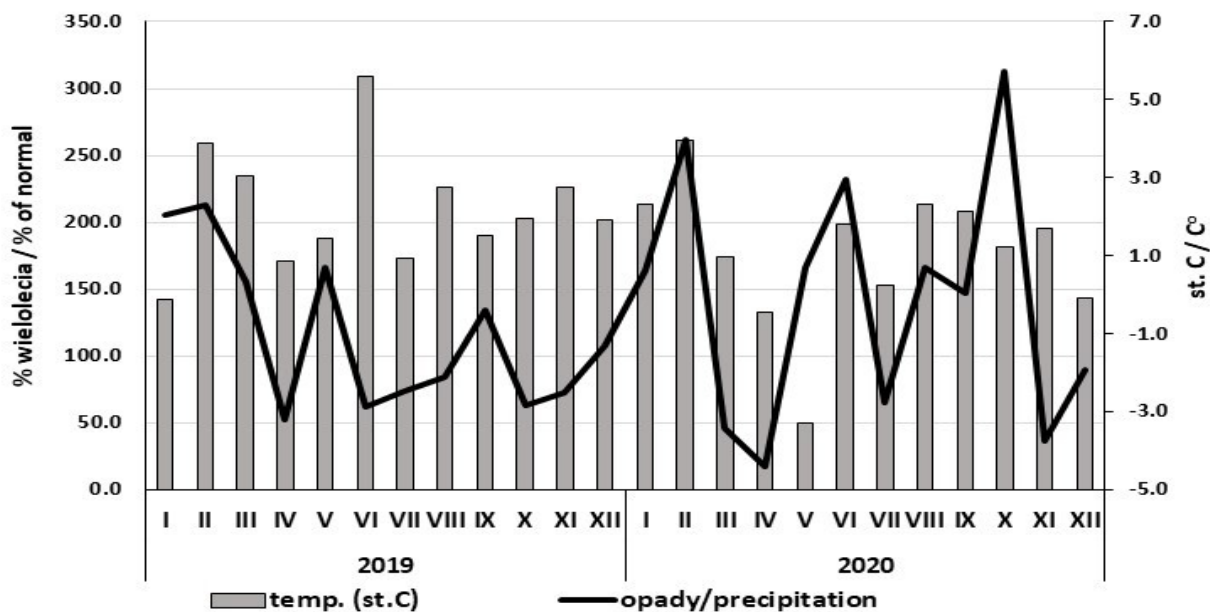
powiednio: 61,5%, 46,5%, 44 oraz 34,6%. Dla pozostałych odmian zbóż ilości efektywnych międzywęźli kształtowały się na poziomie 13-29%.

W grupie traw wieloletnich najwyższy udział międzywęźli efektywnych zanotowano dla spartiny preriowej (76,1% ME) oraz prosa różgowatego MARDAN (47,3% ME).

Cechą, która najsilniej wpływała na uzyskane wartości współczynnika ME w badanych odmianach była średnica międzywęźla ($r = 0,812$, $P > 99\%$). Dla pozostałych cech nie stwierdzono istotnego statystycznie współczynnika korelacji prostej (tab. 3).



a. Grodkowice



b. Radzików

Rys. 1. Wykresy temperatury oraz miesięcznej sumy opadów w relacji do średnich wartości z wielolecia (1981 - 2000) w Grodkowicach oraz Radzików w latach 2019 – 2020. Oś prawa wykresu oraz linie to różnica pomiędzy średnią miesięczną temperaturą powietrza w danym miesiącu a analogiczną wartością dla wielolecia. Oś lewa wykresu oraz słupki to średnie miesięczne sumy opadów w relacji (%) do analogicznych wartości dla wielolecia.

Fig. 1. Charts of temperature and monthly rainfall in relation to average values from the multiannual period, hereafter called 'normal value' (1981 - 2000) in Grodkowice and Radzików in 2019 - 2020. The right axis of the graph and the lines are the difference between the average monthly air temperature in a given month and the corresponding normal value. The left axis of the graph and the bars are the average monthly precipitation in relation (%) to the analogous normal value.

Tabela 2.
Table 2.

Wartości średnie oraz odchylenia standardowe badanych parametrów słomy odmian traw i zbóż
Mean values and standard deviations of the examined straw parameters of grass and cereal varieties

Lp. / No.	Gatunek / Species	Nazwa odmiany, rodu, formy / Name of cultivar, breeding form	Wysokość roślin (cm) / Plant height (cm)	Liczba / Number	Międzywęzła: Internodes		
					Długość [cm] / Length (cm)	Średnica [mm] / Diameter (cm)	% efektywnych / % of effective
Zboża / Cereals							
1	owies ozimy	RADZIO	95,9 ± 5,3	3 ± 0,5	27,1 ± 14,4	4,2 ± 1,0	61,5
2	owies ozimy	RÓD 5Q	83,2 ± 4,0	3 ± 0,3	20,9 ± 12,9	4,0 ± 1,0	29,0
3	owies ozimy	WILAND	88,8 ± 4,5	4 ± 0,3	18,3 ± 12,9	3,4 ± 0,8	12,8
4	pszenica jara	MERKAWA	65,0 ± 4,0	4 ± 0,3	14,1 ± 6,6	2,5 ± 0,4	0,0
5	pszenica orkisz	ZOLLERNPERLE	113,8 ± 9,3	4 ± 0,3	25,4 ± 12,7	2,7 ± 0,4	0,0
6	pszenica ozima	ALMARI	66,4 ± 3,6	3 ± 0,9	20,9 ± 11,2	3,6 ± 1,0	26,7
7	pszenica ozima	DAŃKOWSKA GRANIATKA	140,9 ± 4,5	4 ± 0,5	30,2 ± 14,4	3,8 ± 1,1	46,5
8	pszenica ozima	KWS LIVIUS	77,0 ± 2,9	3 ± 0,4	21,9 ± 9,8	3,5 ± 1,0	23,3
9	pszenica ozima	NADWIŚLANKA	107,0 ± 4,3	3 ± 0,5	36,2 ± 19,2	3,3 ± 1,0	34,6
10	pszenica ozima	OSTKA GRODKOWICKA	105,0 ± 4,3	3 ± 0,5	35,9 ± 20,4	3,7 ± 1,0	44,0
11	pszenica ozima	OSTKA GRUBOZIARNISTA GRODKOWICKA	74,1 ± 5,9	2 ± 0,0	31,1 ± 25,7	3,2 ± 0,7	5,0
12	pszenica ozima	TOBAK	77,1 ± 3,6	4 ± 0,4	18,4 ± 8,4	3,4 ± 0,8	18,4
13	pszenżyto	MEDALION	102,6 ± 5,1	4 ± 0,4	25,2 ± 12,0	3,3 ± 1,2	5,4
14	pszenżyto	MELOMAN	105,6 ± 3,1	4 ± 0,3	22,3 ± 14,2	3,7 ± 0,8	29,3
15	pszenżyto	TORNADO	116,0 ± 6,3	4 ± 0,5	23,6 ± 12,7	3,4 ± 0,8	27,3
Trawy wieloletnie / Perennial grasses							
1	perz wydłużony	TIMPOL	147,5 ± 11,5	3 ± 0,5	36,3 ± 16,2	2,1 ± 0,7	0,0
2	proso różgowate	MARDAN	172,0 ± 28,3	6 ± 0,6	21,0 ± 7,3	3,9 ± 1,1	47,3
3	spartina preriowa	FORMA O/BYDGOSZCZ	197,9 ± 28,2	7 ± 0,5	27,7 ± 8,6	4,2 ± 0,8	76,1
4	stokłosa bezostna	TIMEXA	157,5 ± 5,2	4 ± 0,5	21,6 ± 9,0	2,5 ± 0,6	0,0

Tabela 3
Table 3

Wartości współczynnika korelacji prostej pomiędzy udziałem międzywęzła efektywnych oraz badanymi parametrami słomy
The values of the simple correlation coefficient between the proportion of effective internodes and the tested straw parameters

Parametry słomy Straw parameters	r
Wysokość roślin	0,438 b.i.
Liczba międzywęzła	0,353 b.i.
Długość międzywęzła	0,280 b.i.
Średnica źdźbła	0,813 ***

b.i. – brak istotności/no significant, *** - prawdopodobieństwo istotności korelacji > 99%, correlation coefficient significant with probability > 99%

Dyskusja

Szacuje się, że rolnictwo w Polsce wytwarza ok. 30 mln ton słomy rocznie, z czego około 19 mln ton wykorzystanych jest na cele rolnicze jako:

dodatek do pasz, nawóz naturalny, ściółka dla zwierząt (Madej 2017; Gradziuk 2015). W Polsce nadwyżki słomy (8-9 mln ton) wykorzystuje się poza rolnictwem głównie jako źródło energii odnawialnej (ok. 40-50% na ten cel) (Karcz i in., 2013) Wraz z wzrastającym zapotrzebowaniem na produkty biodegradowalne, wzrasta również zainteresowanie słomą jako substratem do ich produkcji. Obok powszechnych już zastosowań do wyrobu artykułów dekoracyjnych czy gadżetów reklamowych, możliwe jest również zastosowanie słomy do produkcji artykułów do konsumpcji jak naczynia, widelce, noże oraz słomki do napojów. Dla wytworzenia tego ostatniego produktu, słoma nie wymaga jakiegokolwiek przetwarzania, poza jej oczyszczeniem, pocięciem i poddaniem procesowi sterylizacji, przed ostatecznym konfekcjonowaniem i skierowaniem do odbiorcy.

Aby jednak doprowadzić do tego etapu należy najpierw wskazać najbardziej do tego celu odpowiednie rośliny. Najbardziej oczywistymi (w naszej strefie klimatycznej) są zboża oraz trawy wieloletnie, które w cyklu wegetacyjnym produkują

pusty w środku pęd, podzielony na międzywęzła, których liczba, grubość oraz średnica są cechami o znacznej zmienności i podatności na wpływ wielu czynników (Wójtowicz i in., 2019). Cechą istotną w ocenie przydatności słomy do produkcji słomek do napojów jest średnica międzywęzła, czyli średnica łodygi (Wójtowicz i in., 2019). Uważa się, że cecha ta jest kluczowym parametrem wpływającym na wytrzymałość mechaniczną łodygi zbóż i traw (Hall i in., 2010). Parametry te są efektem złożonego oddziaływania wielu czynników, zarówno genetycznych, jak i środowiskowych.

Podsumowanie

W obliczu rosnącej potrzeby poszukiwania alternatywnych dla plastiku surowców naturalnych, wykorzystanie słomy roślinnej jako surow-

ca do produkcji słomek do napojów wydaje się obiecującym rozwiązaniem. Prawidłowe dobranie roślin oraz odpowiednich parametrów technicznych może przyczynić się do stworzenia efektywnego procesu produkcyjnego, jednocześnie wpisującego się w zrównoważony rozwój gospodarczy i ekologiczny. Dalsze badania nad właściwościami fizycznymi i technologicznymi słomy oraz optymalizacją procesu jej przetwarzania są niezbędne dla osiągnięcia optymalnej jakości i efektywności produkcji opisywanych wyrobów.

Podziękowania

Pani dr Agnieszce Rachwalskiej, Dyrektor Zakładu Doświadczalnego HR w Grodkowicach dziękujemy za udostępnienie słomy zbóż oraz przekazanie danych o ich uprawie.

Literatura

- Chia, R.W., Lee J.-L., Lee M., Lee G.-S., Jeong C.-D. 2023. Role of microplastic pollution in climate change. *Science of the Total Environment*, 887: 164112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164112>
- Dziennik Ustaw, 2023, poz. 877. Ustawa z dnia 14 kwietnia 2023 r. o zmianie ustawy o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej oraz niektórych innych ustaw.
- European Commission, 2018. Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. EUR-Lex - 52018PC0340 – EN, 28.5.2018, Brussels, Belgium.
- Gradziuk P. 2015. Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne w Polsce. *Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB Puławy*, 45.
- Hall A.J., Sposaro M.M., Chimenti C.A., 2010. Stem lodging in sunflower: variations in stem failure moment of force and structure across crop population densities and post-anthesis developmental stages in two genotypes of contrasting susceptibility to lodging. *Field Crops Research*, 116(1-2): 46-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.008>
- Harrabin R. 2022. Plastic crisis needs binding treaty, report says. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/science-environment-60026748>
- ISO 18188:2016. Specification of polypropylene drinking straws. <https://www.iso.org/obp/ui/en#iso:std:iso:18188:ed-1:v1:en>
- Jadaun J.S., Bansal S., Sonthalia A., Rai K., Singh S.P. 2022. Biodegradation of plastics for sustainable environment. *Bioresource Technology*, 347: 126697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126697>
- Jansson A., Andersson K., Stelick A., Dando R. 2020. An evaluation of alternative biodegradable and reusable drinking straws as alternatives to single-use plastic. *Journal of Food Sciences*, 86: 3219-3227. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15783>
- Karcz H., Kantorek M., Grabowicz M., Wierzbicki K. 2013. Możliwość wykorzystania słomy jako źródła paliwowego w kotłach energetycznych. *Pieczę Przemysłowe i kotły*, 11-12: 8-15.
- Madej A. 2017. Bilans słomy w Polsce w latach 2010-2014 oraz prognoza do 2030 r. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 18 (1): 163-168.
- Shah A. A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. 2008. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26 (3): 246-265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Sharma S., Sharma V., Chatterjee S. 2023. Contribution of plastic and microplastic to global climate change and their conjoining impacts on the environment – A review. *Science of the Total Environment*, 875: 16267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162627>
- StatSoft, Inc. 2014. STATISTICA (data analysis software system), version 12, www.statsoft.com
- Wagner T.P., Toews P. 2018. Assessing the use of default choice modification to reduce consumption of plastic straws. *Detritus*, 40: 113-121. DOI: <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13734>
- Wójtowicz T., Grabowska-Joachimiak A., Zieliński A. 2019. Analysis of morpho-anatomical stem properties determining its mechanical strength in selected rye cultivars. *International Agrophysics*, 34: 123-131. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/115096>