

ISSN 2544-4476
e-ISSN 2544-798X

AGRONOMY SCIENCE

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio E Agricultura

VOL. LXXXI (1)

2026

UNIwersytet Przyrodniczy w Lublinie

RADA NAUKOWA – SCIENTIFIC BOARD

Imran Aslan (Bingöl, Turcja), Jan Buczek (Polska), Alessandra Carruba (Palermo, Italy),
Dorota Gawęda (Lublin, Polska), Krzysztof Jankowski (Olsztyn, Polska), Elvyra Jariene (Kowno, Litwa),
Barbara Kołodziej (Lublin, Polska), Ali Hulail Noaema (Al-Muthanna, Irak), Eleni G. Papazoglou (Ateny, Grecja),
Ivan Shuvar (Dublany, Ukraina), Danuta Sugier (Lublin, Polska), Wiesław Wojciechowski (Wrocław, Polska),
Alena Yakimovich (Mińsk, Białoruś)

REDAKTOR NACZELNY – EDITOR-IN-CHIEF

Aleksandra Głowacka

REDAKTOR WYDAWNICZY – PUBLISHING EDITOR

Agnieszka Brach

Renata Zelik

SKŁAD I ŁAMANIE – TYPESETTING TEXT

Małgorzata Grzesiak

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie – Wydawnictwo, Lublin 2026

© Copyright by Authors, Lublin 2026

[Artykuły dostępne na licencji CC BY 4.0.](#)

ISSN 2544-4476

e-ISSN 2544-798X

Czasopismo jest indeksowane przez – Covered by:

AGRO, Arianta, CAB Abstracts, DOAJ, EBSCO, EuroPub, Index Copernicus – ICI Journal Master List,
Most Wiedzy, Open Policy Finder, PBN, Ulrichsweb Global Serials Directory

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO W LUBLINIE

ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, tel. 81-445-66-60

<https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/as>

e-mail: agronomy.science@up.lublin.pl



Table of contents Spis treści

ADRIANA DEREJKO, MARCIN STUDNICKI, ELŻBIETA WÓJCIK-GRONT	
Understanding the impact of cultivar characteristics and environmental conditions on grain protein content and yield in wheat	5
PIOTR SOŁOWIEJ, ANNA NOWAK, ANETA JAROSZ-ANGOWSKA	
Polityka zakupowa państwa jako narzędzie zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego na przykładzie Polski	15
State purchasing policy as a tool for ensuring food security: The case of Poland	32
MICHAŁ SYNOŚ, STANISŁAW SAMBORSKI	
Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu pojazdów rolniczych	33
Application of satellite navigation in the positioning of agricultural vehicles	48
ELŻBIETA JĘDRSZCZYK, BARBARA SKOWERA, ALICJA BARANOWSKA	
Wpływ warunków uprawy na plonowanie i wartość odżywczą fasolnika chińskiego (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.) – badania wstępne	49
The effect of cultivation conditions on the yield and nutritional value of chinese cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.) – preliminary studies	59
ZBIGNIEW ANYSZKA, JOANNA GOLIAN, JAN BORKOWSKI	
The studies on the parasitism of branched broomrape (<i>Phelipanche ramosa</i> L.) on some root vegetables from the <i>Apiacea</i> family	61
KRYSTYNA ZARZECKA, MAREK GUGAŁA, IWONA MYSTKOWSKA	
Yield potential of potatoes with colored flesh in central-eastern Poland	69



Department of Biometry, Institute of Agriculture, Warsaw University of Life Sciences,
Nowoursynowska 159, 02-787 Warsaw, Poland

*Corresponding author: adriana_derejko@sggw.edu.pl

ADRIANA DEREJKO*  <https://orcid.org/0000-0002-6623-0656>

MARCIN STUDNICKI  <https://orcid.org/0000-0001-9773-7313>

ELŻBIETA WÓJCIK-GRONT  <https://orcid.org/0000-0002-7172-0529>

Understanding the impact of cultivar characteristics and environmental conditions on grain protein content and yield in wheat

Abstract. In the face of changing climatic conditions, there is a growing need to better understand the mechanisms influencing wheat yield and grain quality, particularly grain protein content (GPC). While genotype-by-environment interactions (GEI) have been widely studied, few investigations have focused on how specific environmental and varietal traits contribute to these interactions.

In this study, we applied the classification and regression tree (CART) method and a linear mixed model (LMM) to analyze field trial data across different wheat cultivars and varying environmental conditions. The analysis included factors such as soil nutrient content, rainfall distribution during the growing season, and varietal characteristics including plant height and growth duration. Our results revealed that GPC was primarily determined by rainfall during the grain-filling phase and the level of available nitrogen in the soil, while grain yield (GY) was strongly influenced by total rainfall during stem elongation and certain morphological traits. The variable “falling number” was included in the initial analysis but was excluded by the model due to its lack of predictive significance.

This study provides detailed insights into which environmental and varietal traits are most influential in shaping GEI effects on GPC and GY. The use of CART modelling enabled the identification of key predictors affecting cultivar responses under diverse growing conditions. These findings can support breeding and agronomic decision-making by offering predictive tools to select cultivars with improved stability in yield and grain quality under variable climatic conditions.

Keywords: winter wheat, grain yield, protein content, CART analysis

INTRODUCTION

Common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) is a widely cultivated grain, used mainly to produce flour, which is used to make bread, cakes, cookies and other bakery products. It is an important source of food for populations around the world, rich in carbohydrates, plant protein, fiber, B vitamins and minerals such as iron, magnesium and zinc [FAO 2019]. However, despite its importance, common wheat faces various threats, including disease, pests, climate change and economic pressures.

In response to these challenges, breeders and scientists are making efforts to improve wheat through breeding and genetic improvement. As part of these efforts, some scientists worldwide are working to refine breeding programs and evaluation methods to better understand the genetic basis of wheat traits and enable more precise recommendations to farmers [Mladenov et al. 2001]. Improved breeding programs can produce more productive and resistant wheat varieties that can more effectively meet food demand under changing climatic and economic conditions [Mladenov et al. 2001, Bustos-Korts et al. 2019].

To do this effectively, breeders need to understand how yield and protein content in grain are influenced, especially given the changing climatic conditions that increasingly affect crop outcomes. However, for this to be achieved, the genotype-environment (GE) interaction phenomenon needs to be well understood. Although there is a substantial amount of research on genotype-environment (GE) interactions, few studies have focused on explaining the observed genotype-environment interactions (GEI) through environmental characteristics and selected traits of varieties. Understanding the explanation of the observed GE interaction would significantly facilitate breeders' work and increase its effectiveness in these uncertain times.

During breeding work and official variety evaluations, a wide range of data on their properties is collected. This information can potentially be used to identify the causes of specific variety reactions to different environmental conditions by explaining the GE interactions in this way.

In this context, a particularly promising analytical tool could be the classification and regression trees (CART) algorithm [Breiman et al. 2017, Iwańska et al. 2018]. The CART algorithm allows for the construction of decision models that can identify patterns and relationships between various variables. In the context of studying GEI interactions, the use of CART enables the analysis of how different environmental factors and a variety of traits influence yield and protein content. This approach can provide a more precise and comprehensive understanding of the dynamics of these processes.

Analysis using the CART method can indicate which environmental features have the greatest impact on yield and protein content in various varieties and allows for the detection of interactions between the genetic traits of varieties and environmental conditions, which are difficult to identify using traditional statistical methods. Additionally, we believe that models based on CART can be used to predict how specific varieties will respond to future climate changes and environmental conditions [Zheng et al. 2009, 2010, Breiman et al. 2017].

Research on common wheat is of great importance in many fields, including agriculture, nutrition and environmental protection [Shewry and Hey 2015, Savary 2019]. The objective of this study is to examine the impact of soil-environment factors such as MgO and K₂O content, soil pH, average annual temperature, and rainfall on the quality parameters and grain yield of common wheat. This research aims to utilize modern analytical methods, such as CART analysis, to obtain more precise results that can have practical applications in agriculture. By better understanding these relationships, the study will contribute to advancements in wheat crop improvement, which is essential to address future challenges and ensure global food security. The greatest influence on the protein content of the grain was exerted by Zeleny's sedimentation value (SV) and resistance to fungal diseases, while the grain yield (GY) was influenced by the thousand-grain weight (TGW), disease resistance, and average annual temperature. These results indicate the need for an integrated approach to the assessment of varietal characteristics and environmental conditions in the wheat breeding process.

MATERIAL AND METHODS

Observations for yield and protein content were carried out in a field experiment, were obtained from 12 locations where multi-environmental winter wheat trials were conducted from 2015/2016 to 2019/2020 growing seasons by the Polish Research Center for Cultivar Testing (COBORU). The results of observations from the 12 study trial locations, based on selected soil-environmental characteristics, are presented in table 1. A total of 55 varieties were tested. The varieties selected for the experiments

were divided into technological groups based on the Polish quality system E (highest), A (good quality) and B (bread-making). According to the Polish quality system of the 55 common wheat varieties tested, 28 (49%) belonged to class A, 26 (49%) belonged to class B, and one (2%) belonged to class E. The study involved the application of a single level of crop management: the high level of crop management (HIM). Under HIM, a higher nitrogen rate (40 kg N ha⁻¹ at BBCH 59) was applied compared to the optimal rate for soil conditions at each site. In addition, foliar fertilizers were used (MgO 250 g ha⁻¹, Cu 50 g ha⁻¹, Mn 150 g ha⁻¹, Zn 80 g ha⁻¹), as well as two fungicides at BBCH 31–32 (carbendazim, dose 625 g ha⁻¹) and BBCH 49–60 (fenpropidin, dose 550 g ha⁻¹), and a growth regulator (trinexapac-ethyl, dose 125 g ha⁻¹) at BBCH 31. A high level of crop management was adopted to demonstrate the optimal yield potential of common wheat. Each experimental field was divided according to a split-block design with two replications, where crop management was the main factor and varieties were a side factor. The area of a single plot was 15 m². Year and location combinations were treated as separate environments. Agronomic traits evaluated included grain yield (GY) and grain protein content (GPC) in percent. Grain samples were milled in the laboratory using a Brabender Quadrumat Senior mill. Protein content (N × 5.7) was determined using the Kjeldahl method (Foss Tecator, Denmark) based on the ICC 105/2 method [ICC 1994].

Table 1. Characteristics of agroecological parameters in 12 trial locations

Locations	Longitude and latitude	Range of annual mean temperatures (°C) ^A	Range of annual mean rainfall (mm) ^A	Mean yield (t ha ⁻¹) ^A	Arable land suitability groups class ^B	Soil class ^C	P ₂ O ₅ content in soil (mg 100 g ⁻¹) ^A	K ₂ O content in soil (mg 100 g ⁻¹) ^A	MgO content in soil (mg 100 g ⁻¹) ^A	Soil pH ^A
Bezek	51.11; 23.15	8–10	560–580	9.22	2	IIIa–IVb	15.0	13	4.0	5.6
Białogard	54.0; 15.59	6–8	600–750	8.05	4	IIIb	15.0	12	3.0	5.8
Glębocze	50.194; 1782	8.5–9	600–700	12.02	1	II–IVa	30.3	21	13.8	6.5
Jelenia Góra	50.856; 15.70	8–10	650–700	10.02	2	IVa	26.7	27	4.0	6.1
Kaweczyn	52.168; 20.34	8–9.5	600–700	9.74	4	IIIb	20.0	15	9.0	6.5
Kościelna Wieś	51.48; 18.01	7–9	550–650	10.72	2	IIIa	17.0	18	8.0	6.2
Krzyżewo	53.025; 22.75	7–8	650–700	9.12	4	IIIb	31.0	18	11.0	6.4
Pawłowice	50.454; 22.75	6–8	550–750	12.64	2	IIIb	9.2	19	7.6	6.0
Sulejów	51.351; 19.867	8–10	550–650	9.38	2	II–IVa	11.0	25	10.0	6.6
Węgrzce	50.119; 19.082	7–9	550–700	8.72	2	IIIb	14.0	20	4.0	5.8
Lisewo	54.195; 18.52	8.5–9	600–700	8.57	2	II	19.0	21	7.0	6.6
Ruska Wieś	53.79; 22.20	6–8	550–650	11.13	2	IIIb	20.0	12	4.0	6.8

^A across growing seasons; ^B 1 – best, 14 – worst; ^C I – best, VI – worst

Table 2 presents the evaluation of the basic characteristics, encompassing the assessment of the fundamental grain quality traits and frost resistance as well as the average resistance to fungal diseases. These data were used to elucidate the effect of genotype or environment on yield and protein content using the CART method. This characteristic evaluation was conducted during the variety registration trials as part of the value for cultivation and use (VCU) assessments.

Table 2. Characteristics of winter wheat cultivars based on registration value for cultivation and use (VCU) assessments

Cultivars	Quality group	TGW	GPC	SV	GY	FN	Frost resistance	Fungal disease resistancy
Ambicja	A	vh	m	vh	h	vh	3.5	7.8
Apostel	A	h	m	vh	h	vh	3.5	7.7
Bataja	A	vh	m	vh	Vh	h	4	7.6
Blyskawica	A	h	l	h	h	m	4	7.7
Comandor	A	l	m	h	vh	vh	4.5	7.7
Euforia	A	m	m	h	vh	vh	6	8
Formacja	A	h	m	vh	h	vh	4.5	7.9
Impresja	A	h	m	h	m	vh	5	7.8
Kariatyda	A	h	m	h	m	h	4.5	8.4
Kometa	A	m	m	h	h	h	4	7.8
KWS Firebird	A	l	l	vh	vh	h	3	7.6
KWS Spencer	A	m	m	vh	vh	vh	3.5	8.1
KWS Universum	A	m	m	vh	vh	h	4.5	7.8
LG Keramik	A	m	m	vh	m	h	4	7.1
Lindbergh	A	m	m	h	h	h	4	6.7
Lokata	A	m	h	h	h	h	3.5	7.7
Nordkap	A	h	h	h	vh	vh	5	7
Opoka	A	h	h	vh	vh	vh	4.5	7.8
Patras	A	h	h	h	good	h	4	7.5
Plejada	A	m	l	h	vh	h	3.5	7.9
Reduta	A	l	m	vh	m	vh	5	7.9
RGT Kilimanjaro	A	m	m	h	vh	vh	4.5	7.7
RGT Metronom	A	m	h	vh	vh	vh	4.5	8
SY Cellist	A	m	m	vh	vh	vh	2.5	8
SY Dubaj	A	vh	h	vh	vh	h	5	8.1
SY Yukon	A	m	m	vh	vh	vh	4	7.9
Venecja	A	m	m	vh	h	h	5	7.8
Admont	B	l	l	h	vh	h	4.5	7.9
Argument	B	h	l	vh	h	h	4	7.7
Artist	B	h	m	vh	vh	vh	3.5	7.5
Bonanza	B	h	m	h	h	vh	4.5	7.9
Bosporus	B	l	l	h	vh	h	4	7.7
Hybery F1	B	m	m	h	h	h	3.5	7.9
KWS Donovan	B	m	l	vh	vh	h	3	8
KWS Talium	B	l	l	h	h	h	3	7.8
LG Jutta	B	m	l	h	vh	vh	5.5	7.9

Cultivars	Quality group	TGW	GPC	SV	GY	FN	Frost resistance	Fungal disease resistancy
Medalistka	B	m	m	h	h	h	5.5	7.6
MHR Promienna	B	l	l	vh	h	h	3.5	7.3
Opcja	B	m	m	h	h	h	3	7.7
Owacja	B	m	m	h	vh	vh	3	7.6
RGT Bilanz	B	m	h	h	h	h	4.5	7.9
RGT Provision	B	m	l	h	h	m	4	8
RGT Ritter	B	vh	l	h	h	h	2.5	7.7
RGT Specialist	B	l	l	vh	vh	vh	4	7.7
Rivero	B	l	m	h	h	h	3.5	7.8
Sfera	B	l	m	h	h	h	4	7.6
SU Mangold	B	m	l	h	vh	vh	4.5	8
SU Petronia	B	h	l	h	vh	m	4	7.6
SU Tarroca	B	vh	l	m	vh	m	2.5	7.6
SU Viedma	B	h	h	vh	h	vh	3.5	7.8
SY Orofino	B	h	l	h	vh	m	4	7.6
Symetria	B	l	l	h	vh	vh	4	7.6
Titanus	B	h	l	vh	h	h	3	8.1
Tytanika	B	h	h	h	h	Vh	5	7.7
Moschus	E	h	h	vh	h	vh	4	7.8

Quality group based on the Polish quality scheme: E – superior cultivar, A – good quality cultivar, B – bread cultivar, C – non-baking cultivar. Values of studied variables: very high – vh, high – h, medium – m, low – l, where
 TGW – thousand-grain weight (g): low 35–37; medium 38–40; high 41–43; very high > 44;
 GPC – grain protein content (%): low < 9; medium 9–10; high 11–13, very high > 13;
 SV – Zeleny sedimentation value (ml); low 40–42; medium 43–45; high 46–48; very high > 48;
 GY – grain yield (dt ha⁻¹): low 56–58; medium 59–61; high 62–63; very high > 63;
 FN – Hagberg falling number (s); low 290–300; medium 301–310; high 311–320; very high > 321.

The grain yield and grain protein contents were analyses a single-stage approach for a linear mixed model (LMM 1):

$$y_{ijklhn} = \mu + g_k + l_j + a_i + ga_{ki} + g_{lkj} + l_{aji} + g_{lakji} + r_{jih} + b_{jihn} + e_{ijklhn}$$

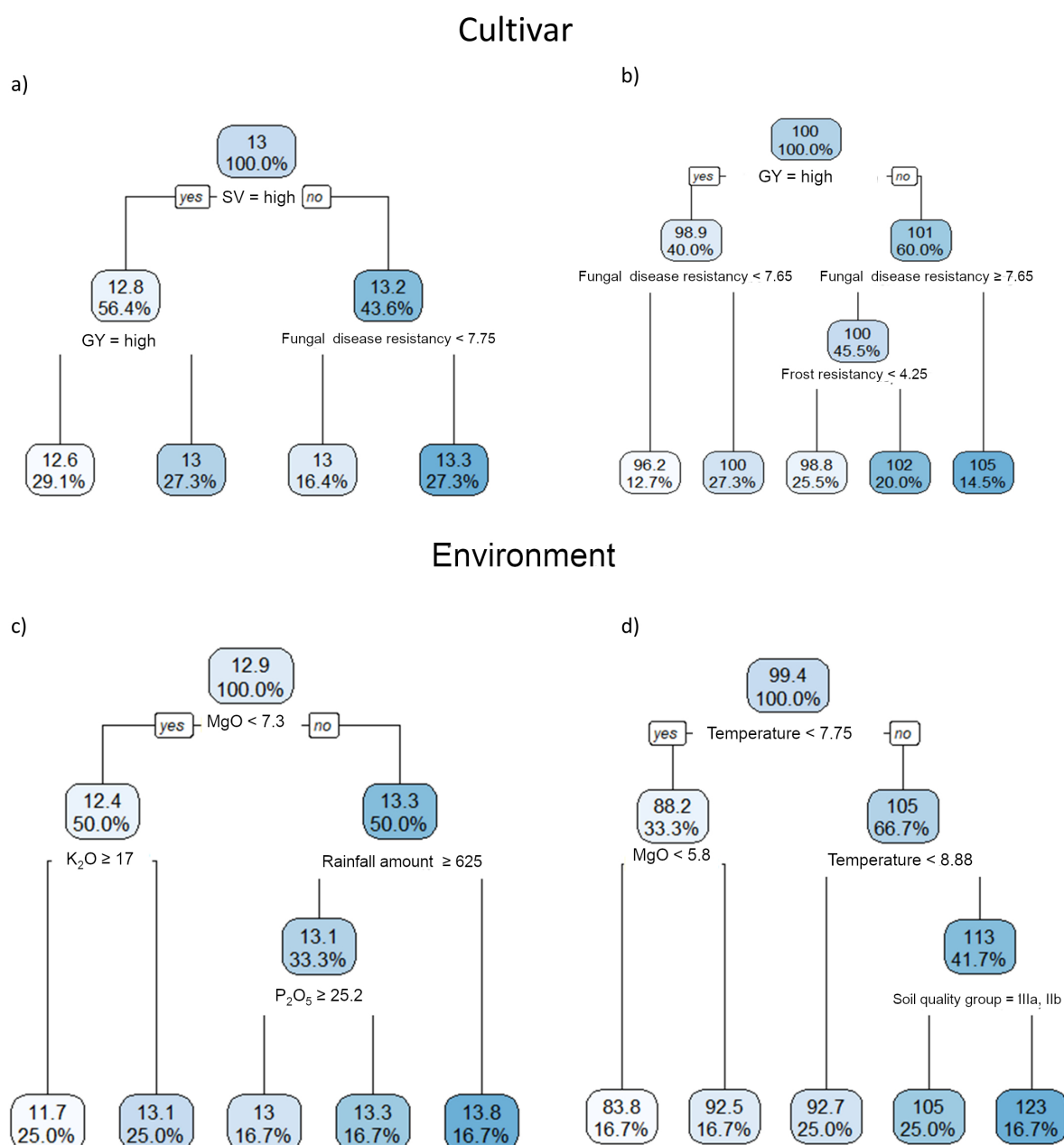
In the above equation y_{ijklhn} represents the grain yield. The following terms represent fixed and random effects in the model. The fixed effects include μ (overall mean), g_k (random effect of k^{th} cultivar), l_j (fixed effect of j^{th} location). a_i is the random effect of i^{th} growing season. The random interaction effects are represented by ga_{ki} (random interaction effect of k^{th} cultivar and i^{th} growing season), g_{lkj} (random interaction effect of k^{th} cultivar and j^{th} location), l_{aji} (random interaction effect of i^{th} growing season and j^{th} location), gla_{kji} (random interaction effect of k^{th} cultivar, j^{th} location and i^{th} growing season). r_{jih} account for the random effect of h^{th} replication nested in j^{th} location at i^{th} growing season. b_{jihn} is the random effect of n^{th} block nested in h^{th} replication at j^{th} location and i^{th} growing season. Lastly, e_{ijklhn} represents the random error associated with the yield observation (y_{ijklhn}).

The adjusted means for grain yield and grain protein content for varieties and the adjusted means for environments obtained from LMM model (LLM 1) were used in classification and regression trees (CART) methods. This allowed for assessing the impact of trial locations (characteristics from table 1) and for cultivar (characteristics from table 2) on yield and protein values yield and protein content in

the study experiment. The sample size for CART analysis was 55 for cultivars and 60 observations for environments (combination of trial locations and growing seasons). The division into splits was based on the minimisation of the Gini impurity measure. To evaluate the CART model, cross-validation was performed using the k-fold method. This method was applied with 5 groups and 50 iterations. The use of cross-validation in this way allowed the determination of two parameters describing the fitting of the model estimation – accuracy and Cohen's kappa coefficient.

For the statistical analysis, we used the R 4.2.1 software package, the CART was obtained used rpart package.

Figure 1. Results of CART analysis for grain protein content (a, c) and grain yield (b, d) in cultivars and environments



GY – grain yield, TGW – thousand-grain weight (g), GPC – grain protein content (%), SV – Zeleny sedimentation value (ml), FN – Hagberg falling number

RESULTS

A CART analysis was conducted to examine causal relationships between wheat grain variables. Figure 1a shows the results of the CART analysis of GPC (grain protein content) based on variety-related variables. This model was characterized by the following values of the fit parameters – accuracy 0.91 ± 0.3 , Cohen's kappa coefficient 0.85 ± 0.02 .

The varietal trait that contributes most significantly to the reduction of variability in grain protein content (GPC) is SV (Zeleny sedimentation value). The “high” SV class corresponds to a lower GPC (12.8%) compared to other SV classes such as “very high”, “medium”, and “low” where the average GPC is 13.2%. For the “high” SV class, GPC is additionally influenced by grain yield (GY). When GY is classified as “high” the GPC is 0.4% lower. For other SV classes, the next variable affecting GPC is resistance to fungal diseases. If resistance is lower than 7.75, GPC decreases by 0.3%. Conversely, increased resistance to fungal diseases leads to higher GPC in common wheat varieties.

Figure 1c presents GPC results based on environmental characteristics, with value of accuracy 0.95 ± 0.4 and Cohen's kappa coefficient 0.89 ± 0.02 . Locations with an average MgO dose below 7.3 kg ha^{-1} show a lower protein content (12.4%). Subsequently, lower GPC values are differentiated based on the K_2O level. For lower K_2O doses, protein content was 1.4% higher, reaching 13.1%. On the other hand, when the MgO content exceeds 7.3 kg ha^{-1} , higher GPC values are further divided based on the amount of precipitation – as rainfall increases, the grain protein content decreases.

The CART analysis results for grain yield (GY) based on varietal traits are presented in figure 1b. The fitting parameters had values: accuracy 0.91 ± 0.3 ; Cohen's kappa coefficient 0.84 ± 0.04 . The most important variable contributing to data variance reduction is TGW (thousand grain weight). For “high” and “very high” TGW classes, the yield is lower. The data are then split based on the variety's resistance to fungal diseases.

Figure 1d shows the relationship between environmental conditions and GY. This model was characterized by the following values of the fit parameters – accuracy 0.87 ± 0.5 , Cohen's kappa coefficient 0.81 ± 0.03 . When the average annual temperature is below 7.75°C , grain yield is lower. In locations with higher MgO doses (above 5.8 kg ha^{-1}) and better soil quality, GY is higher.

DISCUSSION

Classification and regression trees (CART) analysis is widely utilized in various fields of scientific research and data analysis, including plant breeding, agronomy, and agricultural engineering [Zhang et al. 2017, Iwańska et al 2018]. In similar studies, CART analysis is primarily employed to identify significant influencing factors, model complex relationships, classify, and predict outcomes [Breiman et al. 2017, Johansson et al. 2020].

In our study, an increase in grain yield (GY) led to a decrease in grain protein content (GPC). Similar findings were reported by Oury and Godin [2007]. In our study, significant effects Zeleny sedimentation value (SV) and no significant Hagberg falling number (FN) of total on yield were observed. Additionally, the CART analysis provided valuable insights into the causal relationships between variables. The analysis demonstrated the significance of SV in reducing the variability in protein content, where high SV values were associated with lower GPC compared to other SV classes. Furthermore, the interaction between GY and SV affected GPC, while resistance to fungal diseases influenced GPC in specific SV classes. Similar studies, such as Zhang et al. [2017], utilized CART analysis to identify key genetic and environmental traits affecting baking properties. This study also examined other aspects related to wheat breeding and bread baking quality, including analysis of differences between wheat cultivars. The authors noted the need to compare various wheat cultivars in terms of their ability to produce high-quality bread, assessing differences in genetic traits such as protein content, gluten strength, and starch content, which affect bread baking quality. Assessment of environmental impact: Since envi-

ronmental conditions can significantly impact wheat development and quality, this was highlighted as crucial in many related studies [Hatfield et al. 2011, Zhang et al. 2017, Derejko et al. 2021].

Given that such findings confirm the necessity of continuing research, we believe incorporating the latest data and scientific achievements related to the study topic can make our research more current and useful. Similar to this study, we acknowledge the value of CART analysis for such investigations.

In our study, the characterization of locations revealed that MgO dose and rainfall amount affected GPC. Lower MgO doses and higher rainfall were associated with lower protein content in grains. In the study by McIntyre et al. [2010], the authors investigated environmental factors affecting wheat grain protein content. CART analysis was applied to identify the key factors influencing this quality trait. The authors recognize the value of CART analysis in such studies, as it enables a thorough understanding of the complex relationships between variables and the identification of the most important factors influencing grain quality.

The CART analysis results for GY based on varietal traits highlighted the importance of thousand-grain weight (TGW) in reducing data variance. We believe that, besides studying environmental effects, it is also crucial to investigate varietal traits. Authors in studies [Oury et al. 2007, Sanchez-Garcia et al. 2015] share this perspective. Resistance to fungal diseases was also found to be significant for determining GY. Moreover, the relationship between environmental conditions and GY showed that lower average annual temperatures were associated with lower yields. Locations with higher MgO doses and better soil quality exhibited higher grain yields.

Our study is significant for several reasons. Firstly, it confirms previous findings on the impact of genetic and environmental traits on wheat quality and yield [Iwańska et al. 2017, Derejko et al. 2021, Wójcik-Gront et al. 2022]. Secondly, the use of CART analysis allowed for a deeper understanding of the complex relationships between the studied variables, which can contribute to more precise recommendations for wheat breeders. Furthermore, our results highlight the necessity of further research on the impact of environmental conditions on wheat quality and yield, which is crucial in the context of changing climatic and economic conditions.

Future research should focus on integrating the latest scientific achievements and data regarding wheat breeding and assessing the long-term effects of climate change on yields and wheat quality. Additionally, it is essential to continue efforts in identifying and breeding wheat cultivars resistant to diseases and varying environmental conditions, which can contribute to enhancing global food security.

CONCLUSIONS

Integrating genetic and environmental variables in CART and path analyses enables breeders to make informed decisions and select cultivars that meet specific objectives. Further investigations incorporating a broader range of variables will enhance our knowledge of the complex dynamics governing grain quality and yield in this important crop. They will contribute to more accurate cultivar recommendations and the development of resilient cultivars for various environmental conditions.

These conclusions demonstrate the progress made in wheat breeding and the need for continued integrated approaches to further improve the yield and quality of future wheat cultivars.

REFERENCES

- Bustos-Korts D., Romagosa I., Borràs-Gelonch G. et al., 2019. The nutritional value of wheat grain: impact on health. *Nutrients* 11(8), 1835. <https://doi.org/10.3390/nu11081835>
- Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A. et al., 2017. *Classification and regression trees*, 1st ed. Routledge, London.
- Derejko A., Studnicki M., Wójcik-Gront E., 2021. Grain yield performance and stability of winter wheat and triticale cultivars in a temperate climate. *Crop Sci.* 61(6), 3962–3971. <https://doi.org/10.1002/csc2.20594>

- FAO, 2019. The state of food and agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction. FAO, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content> [access: 15.03.2025].
- Mladenov N., Przulj N., Hristov N. et al., 2001. Cultivar-by-environment interactions for wheat quality traits in semiarid conditions. *Cereal Chem.* 78(3), 363–367. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.363>
- Hatfield J.L., Boote K.J., Kimball B.A. et al., 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agron J.* 103(2), 351–370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>
- Iwańska M., Oleksy A., Dacko M. et al., 2018. Use of classification and regression trees (CART) for analyzing determinants of winter wheat yield variation among fields in Poland. *Biom. Lett.* 55(2), 197–214. <https://doi.org/10.2478/bile-2018-0013>
- Johansson E., Branlard G., Cuniberti M. et al., 2020. Genotypic and environmental effects on wheat technological and nutritional quality. In: G. Igrejas, T.M. Ikeda, C. Guzmán (eds). *Wheat Quality for Improving Processing and Human Health*. Springer, 171–204. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34163-3_8
- Oury F., Godin C., 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat. How to use the negative relationship between the two characters to identify favorable genotypes. *Euphytica* 157(1–2), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9395-5>
- Sanchez-Garcia M., Alvaro F., Peremarti A. et al., 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 63, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.006>
- Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J. et al., 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 3(3), 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Shewry P.R., Hey S.J., 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur.* 4(3), 178–202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>
- Wójcik-Gront E., Iwańska M., Wnuk A. et al., 2022. The analysis of wheat yield variability based on experimental data from 2008–2018 to understand the yield gap. *Agriculture* 12(1), 32. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010032>
- Zhang M., Ma D., Ma G. et al., 2017. Responses of glutamine synthetase activity and gene expression to nitrogen levels in winter wheat cultivars with different grain protein content. *J. Cer. Sci.* 74, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.jsc.2017.01.012>
- Zheng H., Chen L., Han X. et al., 2010. Effectiveness of phosphorus application in improving regional soybean yields under drought stress. A multivariate regression tree analysis. *Afr. J. Agric. Res.* 5(23), 3251–3258.
- Zheng H., Chen L., Han X. et al., 2009. Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China. The importance of phosphorus application rates under drought conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 132, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.03.004>

Source of funding: This research received no external funding.

Received: 28.04.2025

Accepted: 7.10.2025

Online first: 16.02.2026

Published: 27.03.2026



¹ Szkoła Doktorska Nauk Społecznych, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie,
Plac im. Marii Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin

² Katedra Ekonomii i Agrobiznesu, Wydział Agrobiotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin

* Corresponding author: aneta.angowska@up.lublin.pl

PIOTR SOŁOWIEJ¹  <https://orcid.org/0000-0002-0753-1838>

ANNA NOWAK²  <https://orcid.org/0000-0003-1741-8692>

ANETA JAROSZ-ANGOWSKA^{2*}  <https://orcid.org/0000-0002-4701-0818>

Polityka zakupowa państwa jako narzędzie zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego na przykładzie Polski

State purchasing policy as a tool for ensuring food security: The case of Poland

Abstrakt. Bezpieczeństwo żywnościowe oraz zdrowy i zrównoważony system odżywiania należą do kluczowych wyzwań stojących przed Unią Europejską i wpisują się w cele zrównoważonego rozwoju określone w Agendzie 2030. Istotną rolę w wyznaczaniu standardów dotyczących rodzaju żywności niezbędnej do osiągnięcia zdrowej i zrównoważonej diety w różnych warunkach pełni polityka zamówień publicznych. Celem artykułu jest przybliżenie pojęcia bezpieczeństwa żywnościowego oraz ocena pozycji Polski na tle wybranych krajów Unii Europejskiej w odniesieniu do jego kluczowych komponentów, a także wskazanie roli polityki zakupowej państwa w kształtowaniu tego bezpieczeństwa. W opracowaniu zastosowano analizę wskaźnikową opartą na Global Food Security Index (GFSI). Uwzględniono również wartość polskiego rynku zamówień publicznych na dostawy żywności w latach 2014–2023. Badania wykazały, że pozycja Polski w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego pozostaje względnie stabilna, choć nadal obciążona jest wyzwaniami związanymi z odpornością systemu żywnościowego (21. miejsce wśród 113 państw). Polityka zakupowa państwa, zwłaszcza w obszarze zamówień publicznych na żywność, może być istotnym narzędziem wspierania krajowej produkcji rolnej, skracania łańcuchów dostaw oraz zapewniania powszechnego dostępu do żywności wysokiej jakości. Wyniki badań wskazują, że w latach 2022 i 2023 odnotowano wyraźny wzrost wartości zamówień publicznych na dostawy żywności.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo żywnościowe, produkcja rolna, zamówienia publiczne, Global Food Security Index

WSTĘP

Zdrowy i zrównoważony system odżywiania stanowi jeden z kluczowych obszarów zainteresowań zarówno Komisji Europejskiej, jak i Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) Regionu Europejskiego. Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego wkomponowuje się także w cele zrównoważonego rozwoju zawarte w Agendzie 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju, przyjętej w 2015 r. przez 193 państwa Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ), a zwłaszcza w cel 2. – wyeliminować głód, osiągnąć bezpieczeństwo żywnościowe i lepsze odżywianie oraz promować zrównoważone rolnictwo [United Nations 2015]. Bezpieczeństwo żywnościowe kształtowane jest przez działania podejmowane przez państwa w celu zapewnienia społeczeństwu dostępu do żywności o odpowiedniej jakości oraz w odpowiedniej ilości. Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego jest także głównym celem Wspólnej Polityki Rolnej, na realizację której przeznaczane jest około 1/3 unijnego budżetu.

Cytowanie: Sołowiej P., Nowak A., Jarosz-Angowska A., 2026. Polityka zakupowa państwa jako narzędzie zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego na przykładzie Polski. *Agron. Sci.* 81(1), 15–32. <https://doi.org/10.24326/as.2026.5623>

W tym kontekście publiczne zamówienia żywności stają się jednym z praktycznych narzędzi realizacji polityki bezpieczeństwa żywnościowego, łącząc cele społeczne z gospodarczym wsparciem rolnictwa. Obejmują one nabywanie żywności przez instytucje rządowe bezpośrednio od rolników, producentów lub dostawców w różnych celach, takich jak programy żywienia w szkołach, publicznych placówkach opieki zdrowotnej, żłobkach, instytucjach wojskowych i więzieniach. Mogą być one uznane za kluczowe instrumenty polityki zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego, ciesząc się coraz większym zainteresowaniem decydentów politycznych i agencji rozwoju ze względu na potencjał przynoszenia korzyści różnym zainteresowanym stronom, w tym producentom żywności i konsumentom [Kelly i Swensson 2017, Swensson i Tartanac 2020, Mahapatra i Mahanty 2021]. Związek pomiędzy bezpieczeństwem żywnościowym a systemem zamówień publicznych ma charakter bezpośredni i wielowymiarowy. Zamówienia publiczne, poprzez odpowiednio skonstruowane kryteria i procedury przetargowe, mogą wpływać na wszystkie cztery filary bezpieczeństwa żywnościowego: dostępność produkcji rolniczej, dostęp ekonomiczny i fizyczny, stabilność i jakość żywności [Swensson i Tartanac 2020, Gaitán-Cremaschi i in. 2022]. Wymóg stosowania kryteriów jakościowych, takich jak świeżość, wartość odżywcza czy pochodzenie surowców, sprzyja poprawie jakości dostarczanej żywności oraz promuje zdrowsze wzorce konsumpcji. Preferencje dla dostawców lokalnych i wspieranie krótkich łańcuchów dostaw zwiększają dostępność żywności na poziomie lokalnym i regionalnym, a jednocześnie ograniczają ryzyko zakłóceń w transporcie oraz skracają czas od zbioru do konsumpcji [Casagrande i in. 2024]. Zamówienia kierowane do małych i średnich producentów, w tym gospodarstw rodzinnych, przyczyniają się do zwiększenia dostępu do rynku dla rolników oraz do wzmocnienia lokalnych gospodarek żywnościowych [Swensson i in. 2021]. Natomiast długoterminowe kontrakty i planowe zakupy publiczne stabilizują popyt i dochody producentów, wspierając stabilność podaży żywności, szczególnie w okresach kryzysów gospodarczych lub zakłóceń w handlu międzynarodowym [Mahapatra i Mahanty 2021]. W ten sposób mechanizmy zamówień publicznych nie tylko realizują cele polityki rolnej i społecznej, ale stają się także praktycznym narzędziem wzmacniania odporności krajowego systemu żywnościowego. W ostatnich latach wiele krajów, takich jak Brazylia czy Indie, wdrożyło specjalne programy publicznych zakupów żywności [Mahapatra i Mahanty 2021, Casagrande i in. 2024], żeby pomóc drobnym rolnikom wejść na rynki i poprawić warunki życia na wsi. Programy te, charakteryzujące się znacznymi zakupami żywności przez rząd, mogą służyć realizacji jednocześnie kilku celów polityki publicznej, takich jak promowanie zdrowszego odżywiania, rozwój rolnictwa, ożywienie gospodarek wiejskich. Kluczową cechą programów publicznych zakupów żywności według Swensson i Tartanac [2020] jest to, że w zależności od przyjętych ram politycznych i regulacyjnych umożliwiają one określenie nie tylko sposobu zakupu żywności, ale zwłaszcza jej rodzaju, jaki będzie kupowany (np. żywność lokalna), dostawcy (np. od lokalnych i/lub rodzinnych producentów rolnych, małych i średnich przedsiębiorstw spożywczych, kobiet, młodzieży i/lub innych grup znajdujących się w trudnej sytuacji) oraz rodzaju produkcji (np. produkcji rolnej zapewniającej zrównoważony rozwój środowiska oraz różnorodność biologiczną). Publiczne zamówienia na żywność pochodzącą z rolnictwa rodzinnego mogą stanowić istotne narzędzie polityczne w procesie przechodzenia na bardziej zrównoważone systemy żywnościowe [Swensson i in. 2021, Gaitán-Cremaschi i in. 2022]. Na przykład w Szwecji polityka zakupów rządowych została wykorzystana do zwiększenia produkcji i konsumpcji żywności ekologicznej [Lindström i in. 2022].

Polityka zakupowa państwa w zakresie żywności powinna być zgodna z kompleksowymi celami walki z głodem i łagodzenia ubóstwa. Może odgrywać kluczową rolę w promowaniu bezpieczeństwa żywnościowego marginalizowanych grup społecznych, zapewniając dostęp do obfitej żywności wysokiej jakości. Unia Europejska podejmuje działania mające na celu kontrolę przepływów produktów rolno-spożywczych i zapewnienie ich odpowiedniej jakości [Michalczyk 2019]. Istotnymi problemami są też marnotrawstwo i straty żywności, które wpływają na bezpieczeństwo żywnościowe [Michalczyk i Michalczyk 2019].

Wybór tematu artykułu wynika z rosnącej potrzeby analizy mechanizmów, dzięki którym państwo może aktywnie kształtować rynek żywnościowy, wspierać krajowych producentów rolnych oraz stabilizować dostawy w sytuacjach kryzysowych. Polska jako kraj o dużym potencjale rolnym stoi przed wyzwaniem zrównoważenia interesów producentów, konsumentów i administracji publicznej, co może być realizowane w ramach polityki zakupowej państwa. Celem artykułu było nie tylko przybliżenie pojęcia bezpieczeństwa żywnościowego i ocena pozycji Polski na tle wybranych krajów UE w odnie-

sieniu do jego kluczowych komponentów, lecz także wskazanie roli, jaką odgrywa polityka zakupowa państwa w kształtowaniu tego bezpieczeństwa. W szczególności uwaga została skupiona na mechanizmach zamówień publicznych na żywność, które mogą stanowić istotne narzędzie wspierania produkcji rolnej, wzmacniania lokalnych łańcuchów dostaw oraz zapewniania stabilnego dostępu społeczeństwa do żywności wysokiej jakości.

METODY BADAŃ

Do realizacji przyjętego celu zastosowano zróżnicowany zestaw metod badawczych. W pierwszym etapie badań przeprowadzono krytyczny przegląd literatury przedmiotu obejmujący publikacje naukowe, raporty instytucji międzynarodowych, dokumenty strategiczne Unii Europejskiej oraz krajowe akty prawne dotyczące problematyki bezpieczeństwa żywnościowego i roli polityki zakupowej państwa. W szczególności uwzględniono dokumenty Organizacji Narodów Zjednoczonych oraz jej Agencji ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), strategie i komunikaty Komisji Europejskiej odnoszące się do bezpieczeństwa żywnościowego oraz zrównoważonego rozwoju rolnictwa, a także polskie akty prawne i dokumenty programowe regulujące kwestie zamówień publicznych i polityki rolnej.

W drugim etapie badań wykorzystano analizę wskaźnikową z zastosowaniem Globalnego Indeksu Bezpieczeństwa Żywnościowego (Global Food Security Index, GFSI) opracowanego w 2012 r. na zlecenie firmy DuPont przez Economist Intelligence Unit (EIU), czyli jednostkę badawczą stworzoną przez magazyn „The Economist”. Fundatorem wskaźnika jest Corteva, tj. jeden z czołowych światowych producentów środków ochrony roślin, będący własnością firmy DuPont. Pozwoliło to na ocenę pozycji Polski na tle wybranych krajów Unii Europejskiej pod względem poziomu bezpieczeństwa żywnościowego. GFSI uwzględnia różne aspekty decydujące o poziomie i jakości zaspokojenia potrzeb żywnościowych w poszczególnych państwach. Wskaźnik ten jest wypadkową wskaźników cząstkowych charakteryzujących takie aspekty bezpieczeństwa żywnościowego, jak przystępność cenowa (affordability), dostępność (availability), jakość i bezpieczeństwo (quality and safety) żywności oraz trwałość i adaptacja (sustainability and adaptation) dotyczące zasobów naturalnych oraz odporności systemów żywnościowych na zmiany klimatu [The Economist Group 2022]. Przyjmuje on wartości w skali od 0 do 100 i pozwala na zbadanie ww. aspektów bezpieczeństwa żywnościowego w 113 krajach na świecie na podstawie analizy wielu czynników. Analiza objęła okres 2012–2022, co pozwoliło na uchwycenie dynamiki zmian w poszczególnych komponentach bezpieczeństwa żywnościowego.

Trzeci etap badań dotyczył analizy polityki zakupowej państwa w kontekście kształtowania bezpieczeństwa żywnościowego. Ocenie poddano wartość polskiego rynku zamówień publicznych na dostawy żywności w latach 2014–2023. Wykorzystano w tym celu dane pozyskane z platformy OpenTender Government Transparency Institute. Posłużono się następującymi kodami CPV: 15000000-8 Żywność, napoje, tytoń i produkty pokrewne; 15900000-7 Napoje, tytoń i produkty podobne; 15800000-6 Różne produkty spożywcze; 15700000-5 Pasza dla zwierząt; 15600000-4 Produkty przemiału ziarna, skrobi i produktów skrobiowych; 15500000-3 Produkty mleczarskie; 15400000-2 Oleje i tłuszcze zwierzęce lub roślinne; 15300000-1 Owoce, warzywa i podobne produkty; 15200000-0 Ryby przetworzone i konserwowane; 15100000-9 Produkty zwierzęce, mięso i produkty mięsne.

WYNIKI I DYSKUSJA

Bezpieczeństwo żywnościowe w międzynarodowych, unijnych i krajowych aktach prawnych oraz dokumentach strategicznych

Pojęcie bezpieczeństwa żywnościowego wyłoniło się w połowie lat 70. w okresie światowych kryzysów żywnościowych, skupiając się na zapewnieniu dostaw i stabilności cen podstawowych artykułów żywnościowych na poziomie międzynarodowym i krajowym [Klikocka i in. 2022]. Konferencja Żywnościowa, która odbyła się w Rzymie w 1974 r., zdefiniowała bezpieczeństwo żywnościowe jako dostępność przez cały czas odpowiednich światowych zasobów żywności podstawowej, umożliwiających stały wzrost spożycia i niwelowanie wahań produkcji i cen [United Nations 1975]. Na początku

lat 80. FAO rozszerzyła tę koncepcję, włączając aspekt dostępu, co oznaczało, że należy zachować równowagę między popytem a podażą w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego – zapewnienie, że wszystkie osoby przez cały czas mają fizyczny i ekonomiczny dostęp do podstawowej żywności, której potrzebują [FAO 1983]. Bank Światowy [World Bank 1986] wprowadził wymiar czasowy, rozróżniając chroniczne niedobory (ubóstwo strukturalne) od przejściowych niedoborów (spowodowanych wstrząsami), definiując bezpieczeństwo żywnościowe jako dostęp wszystkich osób przez cały czas do wystarczającej ilości żywności dla aktywnego, zdrowego życia [FAO 2003]. W połowie lat 90. pojęcie zostało dalej rozwinięte o jakość żywności, bezpieczeństwo oraz preferencje kulturowe. Światowy Szczyt Żywnościowy w 1996 r. [FAO 1996] przyjął definicję bezpieczeństwa żywnościowego jako stan, gdy wszystkie osoby, na poziomie jednostkowym, gospodarstw domowych, narodowym, regionalnym i globalnym, przez cały czas mają fizyczny i ekonomiczny dostęp do wystarczającej, bezpiecznej i pożywnej żywności, odpowiadającej ich potrzebom żywieniowym i preferencjom dla aktywnego i zdrowego życia. W raporcie *The State of Food Insecurity in the World* z 2001 r. [FAO 2002] dodano komponent dostępu społecznego.

Żywność stanowi podstawę celów zrównoważonego rozwoju (Sustainable Development Goals, SDG), programu rozwoju ONZ na XXI wiek. Drugim z 17 celów ONZ jest „wyeliminowanie głodu, zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego i lepszego odżywiania oraz promowanie zrównoważonego rolnictwa” [United Nations 2015]. Osiągnięcie tego celu do 2030 r. będzie wymagało głębokich zmian w globalnym systemie żywnościowym i rolnym. Niektóre elementy tego celu to: wyeliminowanie głodu i zapewnienie wszystkim ludziom dostępu do bezpiecznej i pożywnej żywności; wyeliminowanie wszelkich form niedożywienia; podwojenie wydajności rolnictwa i dochodów drobnych producentów żywności; zapewnienie zrównoważonych systemów produkcji żywności; zwiększenie inwestycji w rolnictwo; korygowanie ograniczeń i zakłóceń handlu na światowych rynkach rolnych oraz zapobieganie takim wydarzeniom; przyjęcie środków zapewniających prawidłowe funkcjonowanie rynków towarów spożywczych [United Nations 2015].

Sekretarz Generalny ONZ ogłosił w 2012 r. podczas konferencji Rio+20, poświęconej zrównoważonemu rozwojowi, światową inicjatywę Zero Hunger Challenge. Inicjatywa ta ma na celu zainspirowanie globalnego ruchu na rzecz uwolnienia świata od głodu w ciągu jednego pokolenia. Zakłada ona: zlikwidowanie niedożywienia u dzieci poniżej drugiego roku życia, stuprocentowy dostęp do odpowiedniej ilości pożywienia przez cały rok, zrównoważony charakter wszystkich systemów żywnościowych, stuprocentowy wzrost wydajności i dochodów drobnych producentów rolnych oraz całkowite wyeliminowanie strat i marnotrawstwa żywności.

W 2021 r. sekretarz generalny ONZ António Guterres zwołał szczyt poświęcony systemom żywnościowym w ramach Dekady Działań na rzecz osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju do 2030 r. Podczas szczytu zapoczątkowano śmiałe kroki prowadzące do osiągnięcia postępów we wszystkich 17 celach SDG, z których każdy w pewnym stopniu zależy od zdrowszego, bardziej zrównoważonego i sprawiedliwego systemu żywnościowego. Szczyt zgromadził kluczowych graczy ze świata nauki, biznesu, polityki, opieki zdrowotnej i środowisk akademickich, a także rolników, organizacje młodzieżowe, grupy konsumentów, aktywistów środowiskowych i inne kluczowe zainteresowane strony.

Trzon unijnego porządku prawnego w obszarze bezpieczeństwa żywności stanowi tzw. ogólne prawo żywnościowe regulowane rozporządzeniem (WE) nr 178/2002 [Regulation (EC) No 178/2002...], które ustanawia zasady analizy ryzyka, tworzy Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority, EFSA) oraz definiuje odpowiedzialność przedsiębiorcy za bezpieczeństwo żywności. Akt ten – wielokrotnie nowelizowany – pozostaje podstawą systemu zarządzania ryzykiem w łańcuchu żywnościowym UE. Istotne są przepisy tzw. pakietu higienicznego, w szczególności Rozporządzenie (WE) Nr 853/2004 w sprawie higieny środków spożywczych, uzupełniane przez regulacje sektorowe oraz normy kontroli urzędowych w całym łańcuchu rolno-spożywczym [Regulation (EC) No 853/2004...] ujęte w rozporządzeniu (UE) 2017/625 [Regulation 2017/625...]. Rozporządzenia te określają obowiązki operatorów i zasady oficjalnego nadzoru żywności, co warunkuje wymagania stawiane wykonawcom w zamówieniach publicznych na żywność i usługi żywieniowe. Za ekonomiczno-rynkowy wymiar odporności systemu żywnościowego odpowiada Wspólna Polityka Rolna (WPR) i plan strategiczny przyjęty na lata 2023–2027. Jej konstrukcję określają rozporządzenia (UE) 2021/2115 i 2021/2116 (finansowanie, zarządzanie, monitoring) oraz nadal obowiązujące rozporządzenie (UE) Nr 1308/2013 określające wspólną organizację rynków [Regulation (EU) 2021/2115..., Regulation (EU) 2021/2116..., Regulation (EU) No 1308/2013...]. Wspomniane akty tworzą m.in. instrumenty interwen-

cji kryzysowej (rezerwa kryzysowa, nadzwyczajne środki rynkowe), które mają bezpośrednie znaczenie dla stabilizacji podaży i cen produktów żywnościowych, a pośrednie dla polityki zakupowej sektora publicznego. Unia przyjęła „Strategię od pola do stołu” („Farm to fork strategy”) będącą elementem Europejskiego Zielonego Ładu, która integruje cele bezpieczeństwa żywności z odpornością, zdrowiem publicznym i zrównoważeniem. Jej rozwinięciem w obszarze zarządzania kryzysowego jest „Plan awaryjny zapewnienia dostaw żywności i bezpieczeństwa żywnościowego w czasie kryzysu” [European Commission 2021], a w odpowiedzi na skutki agresji Rosji na Ukrainę – komunikat Komisji z 23 marca 2022 r. w sprawie zabezpieczenia bezpieczeństwa żywnościowego i wzmocnienia odporności systemów żywnościowych (m.in. krótkookresowe środki wsparcia rynku i logistyki) [European Commission 2022]. Ponieważ polityka zakupowa państwa realizowana jest w reżimie zamówień publicznych, znaczenie mają przepisy o zielonych i innowacyjnych zamówieniach. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE [Directive 2014/24/EU...] umożliwia kształtowanie kryteriów udzielenia zamówienia (np. koszt cyklu życia, wymogi jakościowe), co pozwala powiązać cele bezpieczeństwa żywności (ciągłość dostaw, jakość, standardy sanitarne) z wymogami zrównoważenia.

W ramach prawa krajowego podstawowym aktem jest ustawa z 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, implementująca i wykonująca przepisy prawa UE (w tym rozporządzenie 178/2002 i „pakiet higieniczny”), która reguluje wymagania zdrowotne żywności, odpowiedzialność podmiotów i kompetencje inspekcji (m.in. Państwowej Inspekcji Sanitarnej). Komplementarnie funkcjonuje ustawa z 21 grudnia 2000 r. o jakości handlowej artykułów rolno-spożywczych określająca standardy jakości handlowej oraz zadania Inspekcji Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych (IJHARS), co jest istotne dla kontroli parametrów jakości i autentyczności produktów nabywanych przez podmioty publiczne. Kluczowe dla odporności łańcucha dostaw są również przepisy o rezerwach państwowych – ustawa z 17 grudnia 2020 r. o rezerwach strategicznych, która reguluje tworzenie i utrzymywanie zapasów (w tym żywności), mechanizmy ich udostępniania i finansowania oraz organizację Agencji Rezerw Strategicznych. Instrument ten stanowi bezpośrednie narzędzie polityki zakupowej państwa w zabezpieczeniu ciągłości dostaw w sytuacjach kryzysowych. W obszarze rolnym i rozwojowym ramy strategiczne wyznaczają: polski Plan Strategiczny dla WPR 2023–2027 [Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi] – dokument wdrożeniowy określający interwencje krajowe i regionalne, ukierunkowane m.in. na stabilność dochodów rolników, konkurencyjność, dobrostan zwierząt i odporność na kryzysy – oraz Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030 [Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi]. Ich założenia wpływają pośrednio na warunki podaży żywności i bezpieczeństwo dostaw dla sektora publicznego. Ponieważ istotna część zakupów żywności oraz usług żywienia (np. w szkołach, szpitalach, wojsku) odbywa się w trybie zamówień publicznych, znaczenie ma krajowe prawo zamówień publicznych z 11 września 2019 r. [Ustawa z dnia 11 września 2019 r.] (obowiązujące od 1.01.2021 r.). Ustawa ta pozwala na kształtowanie warunków udziału i kryteriów oceny ofert w sposób łączący wymogi bezpieczeństwa żywności, jakości i ciągłości świadczeń z celami zrównoważonego rozwoju oraz innowacyjności.

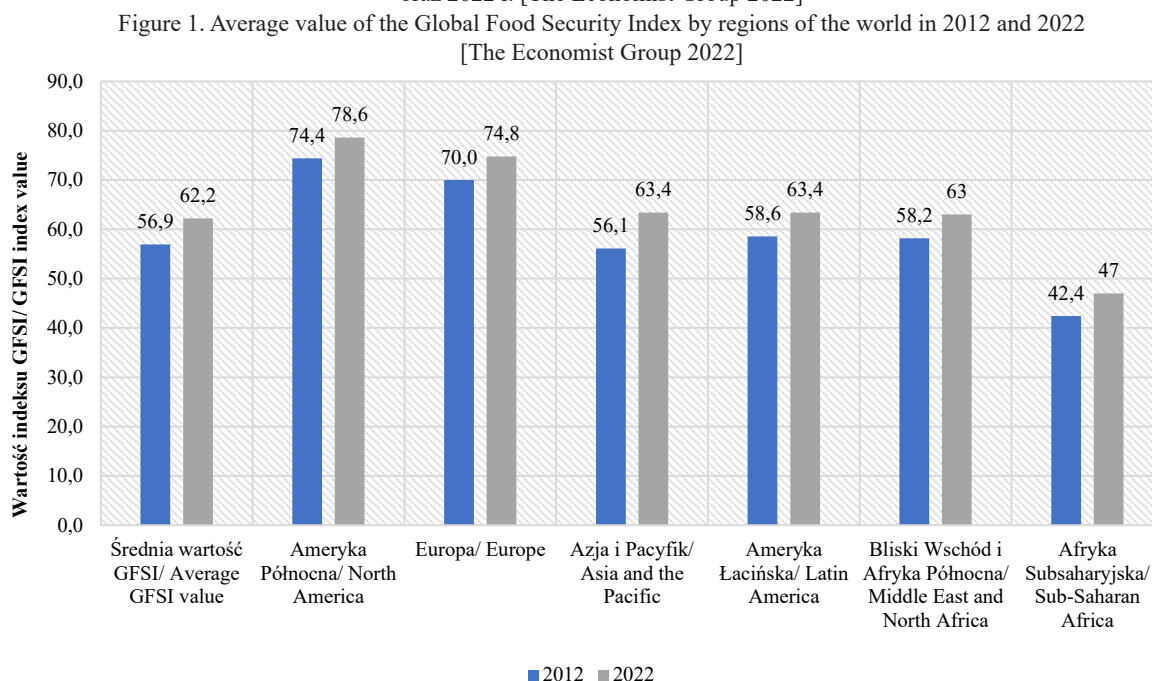
Ocena bezpieczeństwa żywnościowego Polski na podstawie globalnego indeksu bezpieczeństwa żywnościowego (GFSI)

Globalne bezpieczeństwo żywnościowe nadal jest zróżnicowane regionalnie, co pokazuje indeks GFSI zaprezentowany na rycinie 1. W 2022 r. przeciętna jego wartość w skali światowej przyjmowała 62,2 pkt, wahając się od 78,6 pkt w Ameryce Północnej do zaledwie 47 pkt w Afryce Subsaharyjskiej. W porównaniu z 2012 r. wszystkie regiony odnotowały poprawę, przy czym największy wzrost wskaźnika obserwowano w Azji i Pacyfiku (o 7,4 pkt). Pandemia COVID-19, niestabilna sytuacja geopolityczna, inflacja, rosnące koszty żywności i ekstremalne zjawiska pogodowe w 2022 r. unaocznily kruchość światowego systemu żywnościowego, prowadząc do pogorszenia poziomu bezpieczeństwa żywnościowego na świecie.

Literatura przedmiotu dowodzi, że wraz z postępem technologicznym, globalizacją, procesami integracji międzynarodowej i procesami liberalizacji handlu wzmocniły się powiązania między gospodarkami. Przyczyniło się to do bezprecedensowego wzrostu gospodarczego, poprawy dobrobytu na świecie i zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego. Równowaga ta jest jednak dość wrażliwa na pojawiające się wstrząsy polityczne, gospodarcze czy klimatyczno-środowiskowe. Prowadzi to niekiedy do

zaburzeń w procesach integracji przestrzennej rynków rolno-spożywczych oraz wpływa na funkcjonowanie lokalnych i globalnych łańcuchów dostaw żywności, wpływając tym samym na bezpieczeństwo żywnościowe w skali lokalnej, regionalnej i globalnej [Pawlak i in. 2024].

Rycina 1. Średnia wartość Globalnego Wskaźnika Bezpieczeństwa Żywnościowego (GFSI) według regionów świata w 2012 oraz 2022 r. [The Economist Group 2022]



W Europie nie występuje problem braku żywności, lecz widoczne są trudności związane z jej właściwą dystrybucją, znacznymi stratami oraz narastającym zjawiskiem nieprawidłowych nawyków żywieniowych, które prowadzą do otyłości [Kraciuk 2017]. Mimo że wiele państw europejskich plasuje się wysoko w rankingach bezpieczeństwa żywnościowego (tabela 1), Unia Europejska stoi dziś wobec nowych wyzwań. Gospodarcze konsekwencje pandemii COVID-19 w połączeniu z niestabilnością geopolityczną wywołaną wojną rosyjsko-ukraińską rodzą poważne ryzyko dla utrzymania spójnego i stabilnego poziomu bezpieczeństwa żywnościowego w krajach członkowskich [Matejková i in. 2024]. Dotychczas system żywnościowy UE okazał się dość stabilny. Potwierdzają to badania Poczty-Wajdy i Poczty [2024], którzy dowodzą, że WPR UE poprawia bezpieczeństwo żywnościowe w Unii Europejskiej i stabilizuje jego i tak już wysoki poziom, czego dowodem była względna stabilność GFSI w krajach członkowskich. Szczegółowe rankingi państw członkowskich UE pod względem GFSI przedstawiono w tabeli 1.

W 2022 r. Polska zajęła 21. miejsce w globalnym rankingu GFSI, poprawiając swoją pozycję o trzy lokaty względem 2012 r., oraz 16. miejsce spośród 26 państw europejskich (tabela 1). Tym samym znalazła się w gronie krajów o dobrym poziomie bezpieczeństwa żywnościowego (70,0–79,9 pkt). Do państw o bardzo wysokich wynikach, przekraczających 80 pkt, zaliczono m.in. Finlandię, Irlandię, Norwegię, Francję i Holandię. Wyraźnie zarysowuje się również różnica w poziomie indeksu między tzw. starą Unią (UE-14) a nowymi państwami członkowskimi (UE-13), przy czym korzystniej wypadają pierwsza z tych grup (tabela 1). Podobne wnioski formułują także Jacková i in. [2017], podkreślając jednocześnie, że UE jako całość charakteryzuje się wysoką samowystarczalnością i bardzo dobrą oceną bezpieczeństwa żywnościowego, wszystkie państwa członkowskie mieszczą się bowiem w pierwszej pięćdziesiątce spośród 113 analizowanych w ramach GFSI krajów. Analizując składowe indeksy, można zauważyć, że Polska swój najwyższy wynik (87,4 pkt) osiągała w zakresie przystępności cenowej, a najniższy w obszarze dostępności (tabela 2). Nadal jednak istnieją w Polsce luki w udostępnianiu żywności konsumentom. Niezbędna pozostaje poprawa infrastruktury gospodarstw rolnych, ograniczenie zmienności cen producentów i zwiększenie wydatków publicznych na badania i rozwój w rolnictwie. Bardzo wyraźna poprawa nastąpiła natomiast w obszarze trwałości i adaptacji, co spowodowało awans Polski pod względem tego wskaźnika częściowego o 10 miejsc.

Tabela 1. Globalny Indeks Bezpieczeństwa Żywnościowego (GFSI) w wybranych krajach członkowskich UE w 2022 r. oraz jego zmiany względem lat 2012 i 2021
Table 1. Global Food Security Index in selected EU member states in 2022 and its changes compared to 2012 and 2021

Ranking Ranking	Kraj Country	Indeks GFSI GFSI Index	Zmiana względem Change from	
		2022	2021	2012
1	Finlandia/ Finland	83,7	+1,0	+5,3
2	Irlandia/ Ireland	81,7	+0,1	+4,8
4	Francja/ France	80,2	+1,9	+3,4
5	Holandia/ Netherlands	80,1	+0,2	+6,7
=7	Szwecja/ Sweden	79,1	+1,4	+3,4
9	Wielka Brytania/ United Kingdom	78,8	−0,5	+7,2
10	Portugalia/ Portugal	78,7	+1,7	+3,9
12	Austria/ Austria	78,1	+0,4	+3,7
=14	Dania/ Denmark	77,8	+0,5	+4,4
16	Czechy/ Czechia	77,7	+1,1	+5,4
17	Belgia/ Belgium	77,5	+3,0	+3,9
19	Niemcy/ Germany	77,0	−0,3	+3,6
20	Hiszpania/ Spain	75,7	−0,9	+0,8
21	Polska/ Poland	75,5	+0,5	+7,0
27	Włochy/ Italy	74,0	−0,1	+2,5
29	Bułgaria/ Bulgaria	73,0	+0,8	+9,5
31	Grecja/ Greece	72,2	−0,3	+4,7
34	Węgry/ Hungary	71,4	+2,9	+5,3
36	Słowacja/ Slovakia	71,1	+0,1	+6,9
45	Rumunia/ Romania	68,8	−0,5	+5,8

= przy pozycji w rankingu oznacza, że kraj ten zajmuje daną lokatę ex aequo z innym krajem/ = next to a position in the ranking indicates that the country shares the same position with another country
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GFSI 2022/ Source: own study based on GFSI data 2022

Tabela 2. Globalny Indeks Bezpieczeństwa Żywnościowego (GFSI) w Polsce w 2022 r. w stosunku do 2012 r.
Table 2. Global Food Security Index in Poland in 2022 compared to 2012

Globalny Indeks Bezpieczeństwa Żywnościowego Global Food Security Index	Polska/Poland				Średni wynik (kraje ogółem) Average score (countries total)
	wartość indeksu index value	zmiana change	miejsce w rankingu ranking position	zmiana change	
GFSI	75,5	+7,0	21	+3	62,2
Przystępność cenowa Affordability	87,4	+3,8	27	=	69,0
Dostępność Availability	63,8	+2,3	35	−6	57,8
Jakość i bezpieczeństwo Quality and safety	81,5	+6,2	15	+14	65,9
Trwałość i adaptacja Sustainability and adaptation	66,7	+17,2	17	+10	54,1

Źródło: oprac. własne na podst. danych GFSI 2022/ Source: own study based on GFSI data 2022

Rycina 2. Zmiany wartości indeksu GFSI oraz jego czterech wymiarów w Polsce w latach 2012–2022 [oprac. własne na podst. danych GFSI 2022]

Figure 2. Changes in the GFSI index value and its four dimensions in Poland in 2012–2022 [own study based on GFSI data 2022]

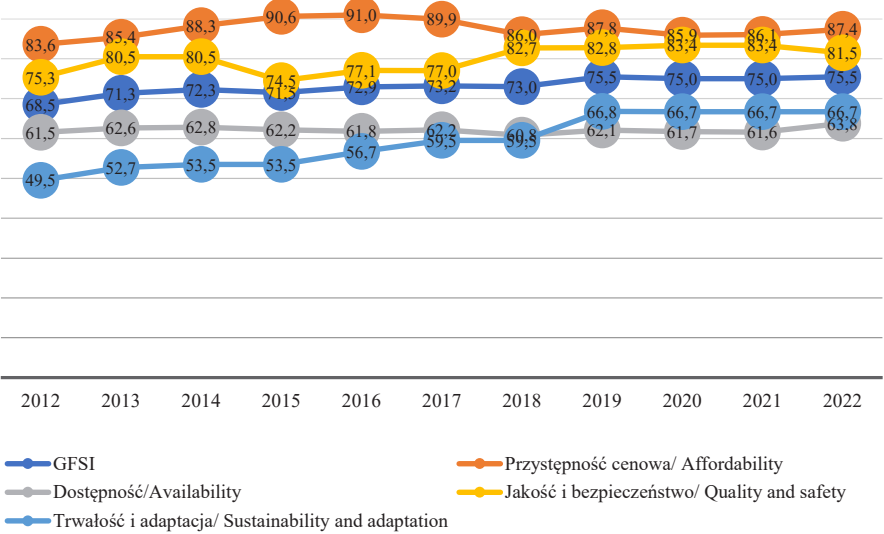


Tabela 3. Ocena wskaźników cząstkowych czterech wymiarów indeksu GFSI w Polsce w 2022 r. (w punktach)
Table 3. Assessment of partial indicators of the four dimensions of the GFSI index in Poland in 2022 (in points)

Przystępność cenowa Affordability	Dostępność Availability	Jakość i bezpieczeństwo Quality And Safety	Trwałość i adaptacja Sustainability and adaptation
zmiana średnich kosztów żywności change in average food costs (84,5)	dostęp do środków produkcji rolnej access to agricultural inputs (75,4)	różnorodność diety dietary diversity (56,7)	narażenie exposure (63,3)
odsetek ludności poniżej globalnej granicy ubóstwa percentage of population below the global poverty line (99,6)	badania i rozwój rolnictwa agricultural research and development (61,5)	normy żywieniowe nutritional standards (100,0)	woda water (61,2)
wskaźnik dochodów skorygowany o nierówności inequality-adjusted income index (75,2)	infrastruktura rolnicza agricultural infrastructure (59,8)	Dostępność mikroelementów micronutrient availability (75,6)	ziemia land (68,7)
handel rolny agricultural trade (76,0)	zmienność produkcji rolnej volatility of agricultural production (61,2)	jakość białka protein quality (100,0)	oceany, rzeki i jeziora oceans, rivers and lakes (4,6)
programy sieci bezpieczeństwa żywności food safety net programmes (100,0)	infrastruktura łańcucha dostaw supply chain infrastructure (71,1)	bezpieczeństwo żywności food security (74,1)	polityczne zaangażowanie w adaptację political commitment to adaptation (96,3)
–	bariery polityczne i społeczne w dostępie political and social barriers to access (74,7)	–	zarządzanie ryzykiem katastrof disaster risk management (100,0)

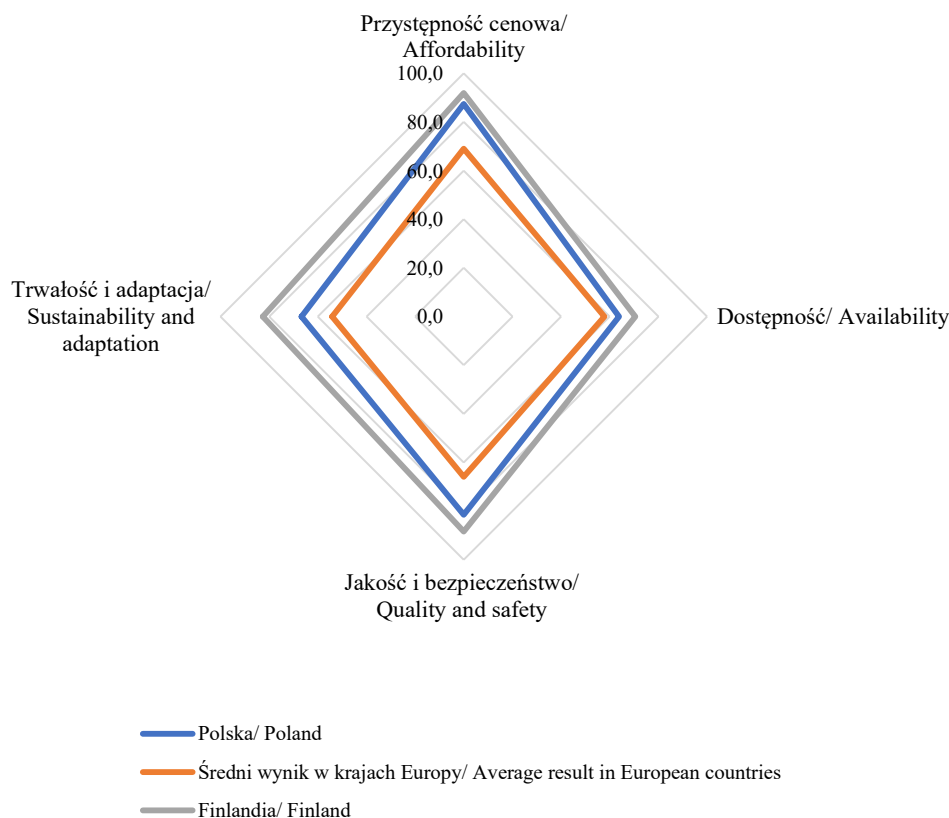
Uwaga: W nawiasach podano znormalizowane punkty ocen wskaźników cząstkowych składających się na ocenę czterech wymiarów GFSI. Oceny przyjmują wartości od 0 do 100, gdzie 100 oznacza najlepszy możliwy wynik, a 0 – najgorszy.
The standardised scores for the sub-indicators that make up the assessment of the four GFSI dimensions are shown in brackets. Scores range from 1 to 100, with 100 representing the best possible result and 0 representing the worst.

Zmiany każdego z wymiarów GFSI w Polsce w latach 2012–2022 zaprezentowano na rycinie 2. Można zauważyć, że w latach 2019–2022 wartość indeksu GFSI pozostawała na zbliżonym poziomie. Największą dynamiką wzrostu w badanym okresie odznaczał się wymiar związany z trwałością i adaptacją, co było efektem bardzo dużej poprawy w zakresie politycznego zaangażowania w adaptację oraz zarządzania ryzykiem katastrof. Pierwszy obszar działań obejmuje ocenę przepływów środków finansowych na rzecz klimatu, wdrażania rachunkowości środowiskowo-ekonomicznej, środków wczesnego ostrzegania, rolnictwo przyjazne dla klimatu, zaangażowania w zarządzanie ekspozycją, krajowej polityki adaptacyjnej rolnictwa oraz rolnictwa zrównoważonego. Natomiast wysoki wynik pod względem zarządzania ryzykiem katastrof był efektem oceny obszarów związanych z inwazją szkodników i łagodzeniem chorób, a także z koordynacją zarządzania ryzykiem. Warto zwrócić także uwagę na spadek oceny wymiaru dotyczącego jakości i bezpieczeństwa w 2022 r. w stosunku do roku poprzedniego. Było to konsekwencją malejącej wartości cząstkowego wskaźnika w obszarze bezpieczeństwa żywności (spadek o 10,3 pkt w stosunku do 2021 r. oraz o 23,1 pkt w relacji do 2012 r.) [GFSI 2022]. Ocena jego obejmuje następujące obszary: odpowiednie przepisy dotyczące bezpieczeństwa żywności, mechanizmy bezpieczeństwa żywności, dostęp do wody pitnej oraz możliwość bezpiecznego przechowywania żywności.

Wartość ocen wskaźników cząstkowych poszczególnych wymiarów GFSI wskazuje na obszary, które można uznać za mocne strony oraz te, które osłabiają bezpieczeństwo żywnościowe w Polsce (tabela 3). Mocne strony leżą przede wszystkim w programach sieci bezpieczeństwa żywności, wystarczających dostawach żywności i rosnącym zaangażowaniu politycznym w adaptację. Widoczna jest także koncentracja na poprawie jakości i bezpieczeństwa żywności, czego dowodem jest m.in. polepszenie standardów żywienia w kraju poprzez określone wytyczne i plany żywieniowe. Natomiast obszary wymagające uwagi to przede wszystkim zmniejszenie zmienności produkcji rolnej w celu zapewnienia stałych dostaw żywności w kraju.

Rycina 3. Porównanie wymiarów bezpieczeństwa żywnościowego Polski do średniej dla krajów europejskich oraz do Finlandii (kraju z najwyższym wskaźnikiem GFSI) w 2022 r. [oprac. własne na podst. danych GFSI 2022]

Figure 3. Comparison of Poland's food safety dimensions to the average for European countries and to Finland (the country with the highest GFSI score) in 2022 [own study based on GFSI data 2022]



Oceny poszczególnych krajów w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego można zestawiać z wynikami liderów, aby wskazać obszary wymagające poprawy [Kowalski i Kowalska 2022]. Dlatego wyniki Polski porównano z Finlandią (rycina 3), która w 2022 r. zajmowała pierwsze miejsce w rankingu GFSI (83,7 pkt), oraz ze średnią europejską (62,2 pkt). Analiza pokazuje, że Polska przewyższa średni poziom europejski we wszystkich częściowych indeksach, szczególnie w kategorii przystępności cenowej. Jednocześnie w wymiarze dostępności żywności kraj wypada słabiej niż średnia europejska, zwłaszcza pod względem zobowiązań w obszarze polityki bezpieczeństwa żywnościowego, dostępu oraz zmienności produkcji rolnej. Do słabszych stron należy również ocena zasobów wodnych (trwałość i adaptacja), choć w tym obszarze Polska dobrze wypada w zakresie politycznego zaangażowania i zarządzania ryzykiem katastrof. Ponadto wyraźna, tj. ponad 30-punktowa, przewaga Polski dotyczy relatywnie korzystniejszych ocen takich wskaźników częściowych, jak wystarczająca podaż żywności, bariery polityczne i społeczne w dostępie żywności, normy żywieniowe oraz jakość białka. Porównanie Polski z liderem w rankingu GFSI wskazuje natomiast, że największa dysproporcja pomiędzy tymi krajami występuje w zakresie indeksu wyrażającego zasoby naturalne i odporność. W Finlandii wynosił on 82,6 pkt, a w Polsce 66,7 pkt, przy średnim poziomie dla 113 krajów wynoszącym 54,1 pkt. Największe podobieństwo między oboma krajami dotyczy przystępności cenowej – indeks wynosił 87,4 pkt dla Polski i 91,9 pkt dla Finlandii. Polska miała natomiast o 10,5% niższy indeks dostępności oraz o 8,5% niższy indeks jakości i bezpieczeństwa żywności. Jedyne wskaźnik, w którym Finlandia osiągnęła wyraźnie słaby wynik, to zmienność produkcji rolnej (30,6 pkt), gdzie Polska wypadła ponad dwukrotnie lepiej (61,2 pkt). W obu krajach najwyżej oceniono obszar przystępności cenowej, a programy sieci bezpieczeństwa żywnościowego uzyskały maksymalną notę 100 pkt. Bardzo wysoki (pozytywny) wynik uzyskano także w zakresie oceny wskaźnika odnoszącego się do odsetka ludności żyjącej poniżej globalnej granicy ubóstwa – 99,6 pkt w Polsce i 99,9 pkt w Finlandii (im niższy odsetek ludności żyjącej poniżej granicy ubóstwa, tym większa wartość wskaźnika). W Polsce niepokojącym sygnałem pozostaje natomiast spadek oceny punktowej odnoszącej się do nakładów na badania i rozwój w rolnictwie – o 11,2 pkt względem 2012 r.

Polityka zakupowa państwa w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego

Zamówienia publiczne to prawnie uregulowany proces wydatkowania środków publicznych, który z jednej strony zapewnia efektywne gospodarowanie publicznymi zasobami pieniężnymi jednostki, natomiast z drugiej wprowadza zasadę uczciwej konkurencji, równego traktowania, powszechności i jawności w procesie udzielenia zamówień publicznych [Marek-Bielawska 2024]. Dokumentem strategicznym dla polskiego rynku zamówień jest polityka zakupowa państwa przyjmowana na 4 lata w formie uchwały Rady Ministrów. Zgodnie z definicją wskazaną w ustawie Prawo zamówień publicznych, polityka zakupowa państwa określa priorytetowe działania w obszarze zamówień publicznych, a także pożądany kierunek działań zamawiających w zakresie udzielanych zamówień, który obejmuje w szczególności zakup innowacyjnych oraz zrównoważonych produktów i usług (zob. art. 21 ust. 1 ustawy Prawo zamówień publicznych, dalej jako ustawa Pzp) [Ustawa z dnia 11 września 2019 r.].

Adresatami polityki zakupowej są organy administracji rządowej, wypracowując przy tym pewne wzorce i standardy w prowadzeniu postępowań dla całego sektora publicznego. Obecne założenia polityki zakupowej państwa zostały oparte na trzech priorytetach: 1) potrzebie profesjonalizacji kadr zamówień publicznych, 2) wykorzystaniu potencjału małych i średnich przedsiębiorstw, 3) zwiększeniu udziału w rynku zrównoważonych i innowacyjnych zamówień publicznych. Celem wskazanych priorytetów jest standaryzacja postępowań zakupowych na wybrane kategorie produktowe. Tym samym ww. dokument należy traktować jako jedno z narzędzi, które wpisuje się w założenia strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju kraju [Czech i Panasiuk 2020].

Zgodnie z koncepcją planowania strategicznego, aby wszcząć postępowanie o udzielenie zamówienia publicznego, należy zdefiniować cel, dokonać wyboru procedur przetargowych, jak również przygotować dokumenty postępowania, które pozwolą określić warunki, kryteria oraz sposób wyboru wykonawcy [Guarnieri i Gomes 2019]. Zamawiający może wybrać instrumenty najbardziej adekwatne do przedmiotu i specyfiki zamówienia, kierując się przy tym potrzebą uzyskania najlepszych efektów względem poniesionych nakładów finansowych [Eckersley i in. 2023]. Dzięki takiemu podejściu polityka zakupowa państwa zmienia paradygmat systemu zamówień publicznych, odchodząc od postrze-

gania procesów zakupowych wyłącznie jako sztywnych procedur wydatkowania środków publicznych. W takim układzie system zamówień publicznych jest nie tylko zbiorem zasad i reguł funkcjonowania podmiotów na rynku zamówień, lecz również instrumentem kształtowania polityki publicznej [Harland 2021]. System zamówień publicznych można więc uznać za jedno z narzędzi pośredniej interwencji władz publicznych w sektor rolny [Gómez-Ramos i Rico Gonzalez 2023].

Mechanizm zamówieniowy został wprowadzony z zamiarem stymulowania popytu na zakup określonych kategorii produktowych oraz świadczenia usług przy jednoczesnym uwzględnieniu trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju, tj. środowiskowego, społecznego i gospodarczego [Lozano i in. 2024]. Jednym z takich działań są zrównoważone zamówienia publiczne, które wpisują się w rozwój zielonej gospodarki, korzystając z ograniczonych zasobów w obiegu zamkniętym i promując rozwiązania prośrodowiskowe poprzez mechanizm dostaw żywności. Zrównoważone zamówienia publiczne obejmują w swoim zakresie zarówno koncepcję zielonych zamówień publicznych, jak i społecznie odpowiedzialnych zamówień [Hamilton 2022]. Warto przy tym podkreślić, że zielone zamówienia publiczne koncentrują się przede wszystkim na minimalizowaniu negatywnego wpływu produktów i usług na środowisko w całym ich cyklu życia. Ich celem jest promowanie rozwiązań ograniczających emisję gazów cieplarnianych, zużycie energii i wody, a także ilość odpadów [European Commission 2016]. Z kolei społecznie odpowiedzialne zamówienia publiczne skupiają się na aspektach społecznych, takich jak wspieranie zatrudnienia osób z grup defaworyzowanych, zapewnianie godnych warunków pracy, równości płci czy etycznych łańcuchów dostaw [European Commission 2021]. Oba podejścia, tj. środowiskowe i społeczne, wzajemnie się uzupełniają, tworząc kompleksową koncepcję zrównoważonych zamówień publicznych, które łączą troskę o klimat, społeczeństwo i rozwój gospodarczy w ramach polityki zakupowej państwa. Zestawienie danych z polskiego rynku zamówień na dostawy żywności w latach 2014–2023 zaprezentowano na rycinie 4.

W krajach Unii Europejskiej wydatki publiczne na zakup żywności wynoszą ponad 20,4 mld zł¹. Biorąc pod uwagę wartość polskiego rynku zamówień publicznych na dostawy żywności, wartość udzielonych zamówień kształtuje się na poziomie 2,17 mld zł², co stanowi ok. 0,06% PKB³ według danych za 2023 r. Wypada przy tym zauważyć załamanie rynku zamówień na dostawy żywności w latach 2015–2017, które wynika z wejścia w życie tzw. dyrektyw zamówieniowych. Dyrektywy te wymusiły na zamawiających ograniczenie stosowania nadmiernych i nieproporcjonalnych do przedmiotu zamówienia preferencji względem wykonawców krajowych⁴. W konsekwencji zamawiający, przygotowując się na zmiany przepisów, wskazywali w ogłoszeniu o zamówieniu dłuższy termin jego realizacji, tak aby część dostaw mogła zostać wykonana w latach kolejnych zgodnie z przepisami obowiązującymi w chwili wszczęcia postępowania.

Analiza rynku zamówień na dostawy żywności wskazuje, że dopiero w 2020 r. całkowita wartość zamówień przekroczyła wartość nominalną zamówień z 2014 r. (rycina 4). Dynamika zmian na rynku zamówień w latach 2015–2020 pozwala zauważyć, że o ile w 2020 r. całkowita wartość zamówień podwoiła się względem 2015 r. (wzrost o 133%), przy jednoczesnym wzroście samego rynku o 19,48% rok do roku, o tyle nastąpił wyraźny spadek liczby wszczętych postępowań o ponad 13% względem 2015 r. Warto przy tym podkreślić względną stabilność samego rynku w latach 2018–2020 zarówno w liczbie

¹ Do wyliczenia wartości rynku przyjęto kurs EUR: 4,4536, zgodny z Obwieszczeniem Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z dnia 3 grudnia 2021 r. w sprawie aktualnych progów unijnych, ich równowartości w złotych, równowartości w złotych kwot wyrażonych w euro oraz średniego kursu złotego w stosunku do euro stanowiącego podstawę przeliczania wartości zamówień publicznych lub konkursów [poz. 1177], dla postępowań wszczętych od 1.01.2022 do 31.12.2023 r.

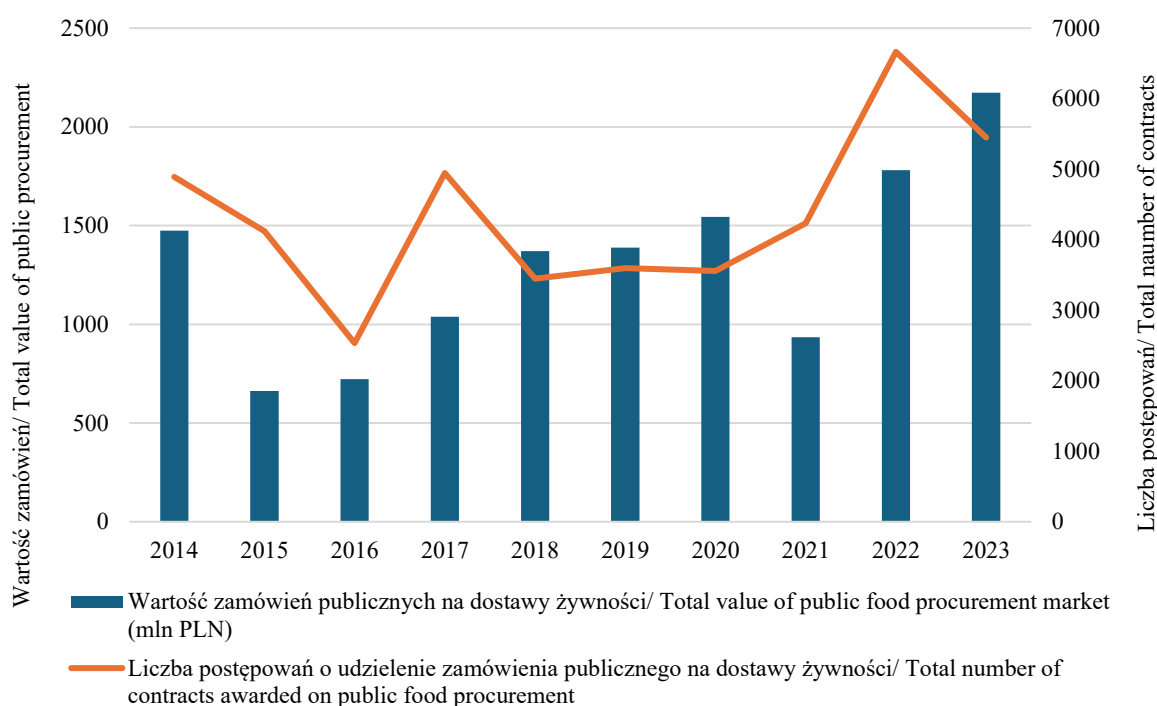
² W przypadku polskiego rynku zamówień system OpenTender Government Transparency Institute otrzymuje raporty z postępowań o wartości przedmiotu zamówienia powyżej 130 tys. zł netto. Wynika to z faktu, że zamawiający zobowiązany jest do wszczęcia postępowania o udzielenie zamówienia powyżej kwoty 130 tys. zł netto, przekazując ogłoszenie o zamówieniu, w ramach którego należy wskazać kody CPV. Zgodnie z dyrektywą klasyczną (2014/24/UE) [Directive 2014/24/EU...] kraje członkowskie mogą stosować w porządku krajowym progi przejściowe do wartości progów unijnych inne niż prawodawca polski, przez co porównywanie wartości zamówień na dostawy żywności pomiędzy państwami członkowskimi UE może stanowić pole do nadinterpretacji otrzymanych wyników.

³ Postępowania o udzielenie zamówienia publicznego poniżej kwoty 130 tys. zł. netto nie są udzielane na podstawie przepisów ustawy Pzp, a tym samym nie są uwzględniane w sprawozdaniu Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych.

⁴ Wśród tzw. dyrektyw zamówieniowych największe znaczenie z uwagi na dostawy żywności ma dyrektywa klasyczna (2014/24/UE) [Directive 2014/24/EU...], która wymusiła nowelizację w 2016 r. ówczesnie obowiązującej ustawy z dnia 29 stycznia 2004 r. – Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2019 r., poz. 1843) – akt uchylony.

prowadzonych postępowań, jak i wartości samych zamówień na dostawy żywności. Zmiana sytuacji na rynku w 2021 r. wynika z wprowadzenia obostrzeń związanych z wystąpieniem COVID-19, w tym zmian warunków organizowania kształcenia, wychowania i opieki dla dzieci i młodzieży. W związku z przejściem na metodę nauczania na odległość placówki oświatowe nie wszczynały nowych postępowań na dostawy żywności, a zawarte wcześniej umowy były aneksowane w celu zawieszenia realizacji części dostaw oraz wydłużenia terminów płatności.

Rycina 4. Wartość i liczba udzielonych zamówień publicznych na dostawy żywności w Polsce w latach 2014–2023 [oprac. własne na podst. danych OpenTender Government Transparency Institute]
Figure 4. Total value and number of food procurement contracts awarded in Poland, 2014–2023
[own study based on OpenTender Government Transparency Institute data]



Lata 2022 oraz 2023 odznaczały się z kolei wyraźnym wzrostem wartości zamówień na dostawy żywności (rycina 4). Wzrost liczby prowadzonych postępowań należy powiązać w pierwszej kolejności ze stopniowym znoszeniem obostrzeń covidowych, a w drugiej z wydaniem opinii przez Urząd Zamówień Publicznych w przedmiocie metod szacowania wartości zamówień na dostawy żywności i usługi cateringowe, a zwłaszcza wprowadzenia w systemie zamówień metod efektywności kosztowej, które pozwalają zamawiającemu kalkulować koszty ponoszone w czasie cyklu życia produktu. Działania prowadzące do ustandaryzowania procesów zakupowych spowodowały, że udział dostaw żywności w krajowym rynku zamówień w 2023 r. należy szacować na ok. 2% wśród dostaw ogółem i 0,8% wśród wszystkich zamówień⁵. Biorąc natomiast pod uwagę udział poszczególnych kategorii produktowych w rynku dostaw na żywność, ponad 1/3 udziału w rynku stanowią produkty zwierzęce, mięso i produkty mięsne (kod CPV: 15100000-9), żywność, napoje, tytoń i produkty pokrewne (kod CPV: 15000000-8), ryby przetworzone i konserwowane (kod CPV: 15200000-0).

Analiza polskiego rynku zamówień na dostawy żywności w 2023 r. (tabela 4) wskazuje na wyraźną dominację kategorii „różnych produktów spożywczych”, które odpowiadały za ponad połowę wszystkich wydatków (56,5%). Drugą co do wielkości kategorią były produkty zwierzęce, mięso i wyroby mięsne, z udziałem 17,4%. Razem obie te grupy stanowiły ponad 73% wartości rynku, co pokazuje ich kluczowe znaczenie w publicznych zakupach żywności. Na dalszych pozycjach znalazły się: owoce i warzywa (7%), a także szeroka kategoria: żywność, napoje, tytoń i produkty pokrewne (7,2%).

⁵ Zgodnie ze sprawozdaniem Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych za 2023 r. wartość udzielonych zamówień na podstawie ustawy Pzp wyniosła 279,8 mld zł [Urząd Zamówień Publicznych 2024].

Stosunkowo istotny udział miały również ryby przetworzone i konserwowane (4,3%) oraz produkty mleczarskie (3,9%). Pozostałe grupy produktowe, takie jak napoje i wyroby tytoniowe (2,55%), pasze (0,7%), produkty przemiału ziarna i skrobi (0,3%) czy oleje i tłuszcze (0,1%), miały marginalne znaczenie w strukturze rynku, odgrywając rolę uzupełniającą. Struktura zamówień publicznych wskazuje więc, że największe znaczenie mają zakupy podstawowych kategorii żywności, szczególnie produktów mięsnych oraz szeroko rozumianych artykułów spożywczych, podczas gdy bardziej wyspecjalizowane grupy towarów mają w niej ograniczony udział. Co więcej, zamawiający tylko w ograniczonym stopniu preferują prowadzenie postępowań z uwzględnieniem produktów sezonowych. Wynika to z faktu, że tylko ci zamawiający, których przedmiot działalności wymaga ciągłości w zapewnieniu dostaw żywności, prowadzą sukcesywne postępowania w trakcie roku kalendarzowego, a przez to mogą kształtować zrównoważone i zdrowe wzorce konsumpcji.

Tabela 4. Wartość polskiego rynku zamówień publicznych na dostawy żywności w 2023 r. w podziale na poszczególne kategorie produktowe
Table 4. The value of the Polish food procurement market in 2023, broken down by product category

Kategoria produktowa zgodna ze Wspólnym Słownikiem Zamówień (CPV) Product category according to the Common Procurement Vocabulary (CPV) code	Wartość zamówień (mln PLN) Total value of public procurement contracts (mln PLN)	Udział poszczególnych kategorii produktowych w rynku zamówień na dostawy żywności (%) Share of particular product categories in the total value of awarded public food procurement contracts (%)
Różne produkty spożywcze Miscellaneous food products	1 227,06	56,48
Produkty zwierzęce, mięso i produkty mięsne Animal products, meat and meat products	378,06	17,40
Żywność, napoje, tytoń i produkty pokrewne Food, beverages, tobacco and related products	156,95	7,22
Owoce, warzywa i podobne produkty Fruit, vegetables and related products	152,92	7,04
Ryby przetworzone i konserwowane Prepared and preserved fish	93,01	4,28
Produkty mleczarskie Dairy products	85,31	3,93
Napoje, tytoń i produkty podobne Beverages, tobacco and related products	55,36	2,55
Pasza dla zwierząt Animal feedstuffs	14,26	0,66
Produkty przemiału ziarna, skrobi i produktów skrobiowych Grain mill products, starches and starch products	6,89	0,31
Oleje i tłuszcze zwierzęce lub roślinne Animal or vegetable oils and fats	2,72	0,13
Razem Total	2 172,54	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych OpenTender Government Transparency Institute
Source: own study based on OpenTender Government Transparency Institute data

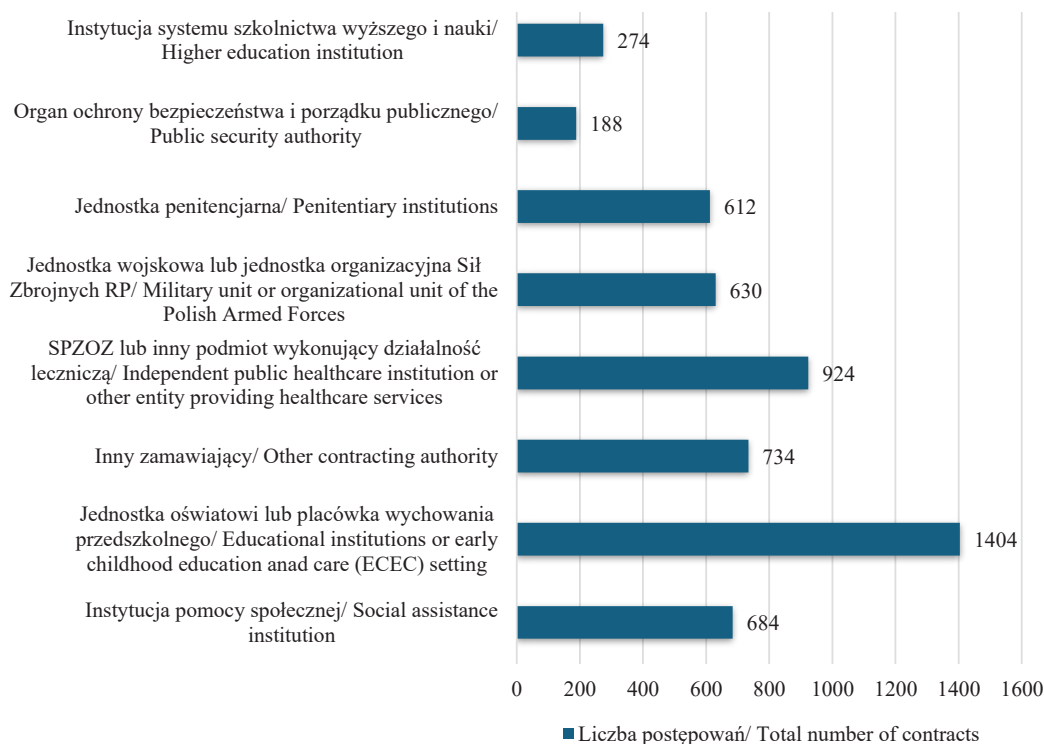
Wypada przy tym dostrzec, że zasady szacowania wartości zamówienia nakładają na zamawiającego obowiązek agregacji dostaw podobnych przed wszczęciem postępowania. Zagadnienie to jest o tyle istotne, że krajowy system zamówień publicznych nakłada na zamawiającego konieczność podjęcia decyzji, czy zamówienie będzie prowadzone w ramach jednego postępowania, czy też w częściach na odrębne dostawy. Praktyka rynku zamówień wskazuje, że kryterium decydującym o tym, czy mamy do czynienia z jednym zamówieniem, czy też z kilkoma odrębnymi zamówieniami, będzie dostępność produktów u jednego dostawcy. W przypadku podmiotów tworzących system oświaty, a zwłaszcza szkół i podmiotów wychowania przedszkolnego, które są zależne organizacyjnie od jednostek samorządu terytorialnego, częstą praktyką jest prowadzenie postępowań na rzecz wskazanych wyżej podmiotów przez gminy lub powiaty, w zależności od typu placówki. Zamawiający szukają możliwości realizacji

zamówienia przez jednego wykonawcę, który dostarczy wszystkie wymagane artykuły spożywcze w ramach jednej dostawy i na rzecz wielu podmiotów. Działania te powodują, że zamawiający, wszczynając postępowanie, ogranicza się w ogłoszeniu o zamówieniu do kodu CPV: 15800000-6 (różne kategorie spożywcze), tak aby dotrzeć tylko do tych wykonawców, którzy mają dostęp do szerokiego asortymentu towarów. Stosując takie praktyki zakupowe, zamawiający skupia się głównie na kryterium cenowym oraz terminie realizacji zamówienia, a dopiero w dalszej kolejności na aspektach społecznych czy też kwestiach środowiskowych.

Rycina 5. Struktura zamawiających w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego na dostawę żywności w Polsce w 2023 r.

[oprac. własne na podst. danych OpenTender Government Transparency Institute]

Figure 5. Structure of contracting authorities in Poland's public food procurement market in 2023
[own study based on OpenTender Government Transparency Institute data]



Dane z rynku zamówień wskazują, że zamawiający przeprowadzili łącznie 5450 postępowań na dostawę żywności w 2023 r. Analiza struktury zamawiających pozwala odnotować, że co czwarte postępowanie było prowadzone przez podmioty tworzące system oświaty, tj. jednostki oświatowe lub placówki wychowania przedszkolnego. W dalszej kolejności istotny segment rynku zamówień na dostawę żywności stanowią samodzielne publiczne zakłady opieki zdrowotnej lub inne podmioty wykonujące działalność leczniczą (17%), jak też instytucje pomocy społecznej (13%). Zamawiającym, którzy prowadzą postępowania na rzecz jednostek wojskowych lub jednostek organizacyjnych Sił Zbrojnych RP, przypada z kolei udział 12%, natomiast areszty śledcze i zakłady karne, które wchodzą w skład jednostek penitencjarnych, odpowiadają za 11% powiadczonych postępowań. Instytucje szkolnictwa wyższego i nauki, reprezentowane głównie przez uczelnie przyrodnicze, medyczne, instytuty badawcze lub oddziały Polskiej Akademii Nauk, przeprowadziły niewiele ponad 5% wszystkich postępowań w 2023 r.

Ponadto organy ochrony bezpieczeństwa i porządku publicznego, takie jak Policja, Straż Graniczna, Agencja Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Agencja Wywiadu, Żandarmeria Wojskowa itd., mogą odznaczyć się trzyprocentowym udziałem w strukturze zamawiających. Pozostałą grupę zamawiających na rynku dostaw żywności stanowią inne jednostki sektora finansów publicznych (13%). Tym samym główny segment rynku zamówień na dostawę żywności tworzą podmioty powołane przez jednostki samorządu terytorialnego, tj. podmioty tworzące system oświaty, instytucje pomocy społecznej, część

szpitali, a także inne samorządowe jednostki budżetowe, samorządowe zakłady budżetowe lub samorządowe instytucje kultury. Warty przy tym odnotowania jest fakt, że dane z rynku zamówień na dostawy żywności nie obejmują umów zawieranych przez Rządową Agencję Rezerw Strategicznych o przechowanie, wymianę czy utrzymywanie rezerw strategicznych stanowiących własność przedsiębiorcy. Przedmiotem takich zamówień jest zakup usług, przez co mówimy nie o dostawach, lecz o usługach, którym przypisana jest w ogłoszeniu o zamówieniu inna grupa kodów CPV.

Problematyka dostaw żywności została dostrzeżona w strategii Komisji Europejskiej „Od pola do stołu”, gdzie wskazuje się na potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego oraz rozwoju lokalnych systemów żywnościowych poprzez system zamówień publicznych [European Commission 2020]. Dodatkowo Komisja Europejska opublikowała raport poświęcony zrównoważonym zamówieniom publicznym, w którym wskazuje się potrzebę poprawy dostępności zrównoważonej żywności na terenie państw członkowskich, a także wykorzystania potencjału rolnictwa ekologicznego [European Committee of the Regions 2018].

Zrównoważone zamówienia publiczne należy rozpatrywać szerzej niż tylko w zakresie praktyk zakupowych na dostawy lokalnej i ekologicznej żywności. W tym celu polityka zakupowa państwa obejmuje w swoich założeniach zintegrowaną i skoordynowaną ze wszystkimi interesariuszami rynku zamówień politykę zmian w krajowym systemie żywnościowym. Polityka zakupowa państwa może bowiem kształtować wzorce żywieniowe, w których zdrowa i zrównoważona dieta staje się świadomym wyborem konsumentów [Brukało i in. 2024] oraz które opierają się na założeniach wydajnego i sprawiedliwego systemu produkcji, dystrybucji i utylizacji żywności [Zaharia i in. 2021].

Celem zrównoważonych zamówień publicznych na dostawy żywności jest zwiększenie popytu na produkty i usługi, które wymuszają wyższe standardy w zarządzaniu jakością produkcji [Molin i in. 2021] oraz sprzyjają tworzeniu nowych łańcuchów na dostawę żywności tradycyjnej i ekologicznej [Soares i in. 2021]. Działania te mogą stanowić impuls do pobudzenia innowacji na każdym z etapów produkcji [Krieger i Zipperer 2022] oraz umożliwić budowę przewagi konkurencyjnej dla tych przedsiębiorstw, których działalność jest komplementarna z celami zrównoważonego rozwoju [Zielińska-Chmielewska i in. 2023]. Zmiana priorytetów zakupowych odgrywa przy tym rolę bodźca zewnętrznego, który wymusza zmiany w rynku spożywczym dzięki sile nabywczej sektora publicznego [Van Berkel i Schotanus 2021, Lindström i in. 2022].

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na wieloaspektowe ujęcie problematyki bezpieczeństwa żywnościowego w wymiarze zarówno teoretycznym, jak i praktycznym. Analiza porównawcza oparta na Globalnym Indeksie Bezpieczeństwa Żywnościowego wskazała, że pozycja Polski na tle wybranych krajów Unii Europejskiej jest relatywnie stabilna, choć nadal obciążona wyzwaniem w zakresie odporności systemu żywnościowego. Jednocześnie krytyczny przegląd dokumentów strategicznych i regulacji prawnych ujawnił, że polityka zakupowa państwa – zwłaszcza w formie zamówień publicznych na żywność – może stanowić istotne narzędzie wspierania krajowej produkcji rolnej oraz zapewniania powszechnego dostępu społeczeństwa do żywności wysokiej jakości.

Z badań wynika, że lata 2022 oraz 2023 odznaczały się wyraźnym wzrostem wartości zamówień publicznych na dostawy żywności. Zjawisko to należy uznać za istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa żywnościowego kraju, ponieważ wzrost zamówień publicznych stabilizuje popyt na produkty rolno-spożywcze, wzmacnia pozycję krajowych producentów oraz sprzyja skracaniu łańcuchów dostaw. Jednocześnie zwiększa on dostępność żywności dla instytucji publicznych, a tym samym dla szerokich grup społecznych. W rezultacie polityka zakupowa państwa, wyrażająca się w rosnącej skali zamówień publicznych, staje się nie tylko instrumentem wsparcia rynku rolnego, ale także ważnym narzędziem wzmacniania stabilności i jakości krajowego systemu żywnościowego.

W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że zamówienia publiczne na żywność w Polsce, odpowiednio ukierunkowane, mogą stać się skutecznym instrumentem wzmacniania bezpieczeństwa żywnościowego. Polska, mimo stosunkowo dobrej pozycji w rankingach międzynarodowych, stoi przed wyzwaniem integracji polityk sektorowych – rolnictwa, zdrowia publicznego, ochrony środowi-

ska oraz polityki społecznej – w spójną strategię wzmacniającą bezpieczeństwo żywnościowe. Polityka zakupowa państwa i zamówienia publiczne wpisują się w tę perspektywę jako brakujące ogniwo łączące wymiar ekonomiczny i społeczny, co wskazuje na potrzebę dalszych badań i pogłębionej analizy ich roli w systemie żywnościowym.

Piśmiennictwo

- Brukało K.M., Nowak J., Pietrzykowska A. i in., 2024. Public food procurement as a tool of sustainable food and nutrition policy – Fat products. *Front. Sustain. Food Syst.* 8, 1265745. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1265745>
- Casagrande D., Emanuel L., Freitas C. i in., 2024. Public food procurement and production. Evidence of the food acquisition program in Brazil. *Food Policy* 126, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102656>
- Committee on World Food Security, 2021. CFS voluntary guidelines on food systems and nutrition, Rome. http://www.fao.org/fileadmin/templates/cfs/Docs2021/Documents/CFS_VGs_Food_Systems_and_Nutrition_Strategy_EN.pdf [dostęp: 10.02.2025].
- Czech E.K., Panasiuk A., 2020. State purchasing policy – a new institution of public procurement law. *Rev. Eur. Comp. Law* 43(4), 163–175. <https://doi.org/10.31743/recl.10654>
- Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement. OJ L 094 28.3.2014, p. 65. <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/24/2024-01-01> [dostęp: 19.08.2024].
- Eckersley P., Flynn A., Lakoma K. i in., 2023. Public procurement as a policy tool: the territorial dimension. *Reg. Stud.* 57(10), 2087–2101. <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2134850>
- European Commission, 2016. Buying green! A handbook on green public procurement. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/837689>
- European Commission, 2020. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. COM(2020) 381 final, Brussels, 20.5.2020.
- European Commission, 2021. Contingency plan for ensuring food supply and food security in times of crisis. COM(2021) 689 final, Brussels, 12.11.2021.
- European Commission, 2022. Safeguarding food security and reinforcing the resilience of food systems. COM(2022) 133 final, Brussels, 23.3.2022.
- European Commission, 2021. Buying Social – a guide to taking account of social considerations in public procurement (2nd ed.). C(2021) 3573 final. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Committee of the Regions, 2018. Sustainable public procurement of food. European Committee of the Regions. <https://data.europa.eu/doi/10.2863/1187>
- FAO, 2003. Trade reforms and food security. Conceptualizing the Linkages, Rome. <https://www.fao.org/4/y4671e/y4671e00.htm#Contents> [dostęp: 11.02.2025].
- FAO, IFAD, UNICEF i in., 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1254en>
- FAO, 1983. World food security: a reappraisal of the concepts and approaches. Director General's Report. Rome. <https://www.fao.org/4/x5563E/X5563e00.htm>
- FAO, 1996. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World Food Summit 13–17 November 1996. Rome.
- FAO, 2002. The state of food insecurity in the world 2001. Rome, 4–7.
- Gaitán-Cremaschi D., Klerkx L., Aguilar-Gallegos N. i in., 2022. Public food procurement from family farming. A food system and social network perspective. *Food Policy* 111, 102325. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102325>
- GFSI, 2022. Global Food Security Index. <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/> [dostęp: 24.11.2024].
- Government Transparency Institute. OpenTender Poland. Food, beverages, tobacco and related products (CPV 15). <https://opentender.eu/pl/sector/15> [dostęp: 20.07.2024].
- Gómez-Ramos A., Rico Gonzalez M., 2023. The contribution of green public food procurement to sustainability: evidence from two case studies in Spain. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 47(8), 1158–1185. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2223555>
- Guarnieri P., Gomes R.C., 2019. Can public procurement be strategic? A future agenda proposition. *J. Public Procur.* 19(4), 295–321. <https://doi.org/10.1108/JOPP-09-2018-0032>
- Hamilton S.G., 2022. Public procurement – price-taker or market-shaper?. *Crit. Perspect. Int. Bu.* 18(4), 574–615. <https://doi.org/10.1108/cpoib-08-2020-0116>
- Harland C.M., Eßig M., Lynch J. I in., 2021. Policy-led public procurement: does strategic procurement deliver?. *J. Public Procure.* 21(3), 221–228. <https://doi.org/10.1108/JOPP-09-2021-089>
- Jacková S., Dobošová L., Kadlečíková M. i in., 2017. Food security and self-sufficiency in Europe. *Probl. World Agric.* 17(4), 111–119. <https://doi.org/10.22630/PRS.2017.17.4.87>
- Kelly S., Swensson L.F.J., 2017. Leveraging institutional food procurement for linking small farmers to markets. Findings from WFP's Purchase for Progress initiative and Brazil's food procurement programmes. *FAO Agricultural Development Economics Technical Study 1*. FAO, Rome, pp 101.

- Klikocka H., Jarosz-Angowska A., Nowak A. i in., 2022. Assessment of Poland food security in the context of agricultural production in 2010–2020. *Agron. Sci.* 77(3), 101–122. <http://doi.org/10.24326/as.2022.3.8>
- Kowalski J., Kowalska A., 2022. The realization of the human right to food: preliminary remarks on assessing food security. *Prz. Praw.-Ekon.* 1, 9–31. <https://doi.org/10.31743/ppe.13009>
- Kraciuk J., 2017. Bezpieczeństwo żywnościowe krajów Unii Europejskiej. *Rocz. Nauk. SERiA* 19(3), 150–155. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.3238>
- Krieger B., Zipperer V., 2022. Does green public procurement trigger environmental innovations? *Res. Policy* 51(6), 104516. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104516>
- Lindström H., Lundberg S., Marklund P.O., 2022. Green public procurement. An empirical analysis of the uptake of organic food policy. *J. Purch. Supply Manag.* 28(3), 100752. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2022.100752>
- Lozano R., Santos F., Barreiro-Gen M., 2024. Developing a harmonic sustainable public procurement framework. *Environ. Dev. Sustain.* 26, 2291–2306. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02818-1>
- Mahapatra M.S., Mahanty B., 2021. Effective public procurement of food grains. A case of India under differential charges. *Comput. Ind. Eng.* 154, 107165. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107165>
- Marek-Bielawska A., 2024. Polityka zakupowa państwa jako cel zamówień publicznych. *Stud. Prawa Publ.* 2(46), 75–93. <https://doi.org/10.14746/spp.2024.2.46.4>
- Matejková E., Májek M., Qineti A., Sojková Z., 2024. Comparative analysis of European Union countries based on selected aspects of food security. *Agric. Econ. – Czech* 70(6), 265–278. <https://doi.org/10.17221/16/2024-AGRICECON>
- Michalczyk J., 2019. Bezpieczeństwo żywnościowe z perspektywy państw Unii Europejskiej. *Ekon. Międzynar.* 25, 18–45. <https://doi.org/10.18778/20824440.25.02>
- Michalczyk J., Michalczyk W., 2019. Problem marnotrawstwa i strat wobec zachowania bezpieczeństwa żywnościowego w jęciu międzynarodowym. *Prace Nauk. Uniw. Ekon. Wroc.* 63(3), 50–69. <https://doi.org/10.15611/pn.2019.3.05>
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/plan-strategiczny-dla-wspolnej-polityki-rolnej-na-lata-2023-27> [dostęp: 1.02.2025].
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Strategia zrównoważonego rozwoju wsi rolnictwa i rybactwa 2030, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/strategia-zrownowazonego-rozwoju-wsi-rolnictwa-i-rybactwa-2030> [dostęp: 1.02.2025].
- Molin E., Martin M., Björklund A., 2021. Addressing sustainability within public procurement of food: a systematic literature review. *Sustainability* 13(23), 13395. <https://doi.org/10.3390/su132313395>
- Obwieszczenie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z dnia 3 grudnia 2021 r. w sprawie aktualnych progów unijnych, ich równowartości w złotych, równowartości w złotych kwot wyrażonych w euro oraz średniego kursu złotego w stosunku do euro stanowiącego podstawę przeliczania wartości zamówień publicznych lub konkursów. MP. 2021 poz. 1177.
- Pawlak K., Malak-Rawlikowska A., Hamulczuk M. i in., 2024. Has food security in the EU countries worsened during the COVID-19 pandemic? Analysis of physical and economic access to food. *PLoS ONE* 19(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302072>
- Poczta-Wajda A., Poczta W., 2024. Stability of food security in EU member states – does the common agricultural policy ensure resilience of food systems during crises?. *Ekonomista* 4, 395–419. <https://doi.org/10.52335/ekon/190562>
- Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. *OJ L* 31, 1.2.2002, 1–24. <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj>
- Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. *OJ L* 139, 30.4.2004, 1–54. <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/852/oj>
- Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the application of food and feed law, rules on animal health and welfare, plant health and plant protection products. *OJ L* 95, 7.4.2017, 1–142. <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/625/oj>
- Regulation (EU) 2021/2115 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD). *OJ L* 435, 6.12.2021, 1–186. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/2115/oj>
- Regulation (EU) 2021/2116 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 on the financing, management and monitoring of the common agricultural policy. *OJ L* 435, 6.12.2021, 187–261. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/2116/oj>
- Regulation (EU) No 1308/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 establishing a common organisation of the markets in agricultural products. *OJ L* 347, 20.12.2013, 671–854. <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/1308/oj>
- Soares P., Martinelli S.S., Davó-Blanes M.C. i in., 2021. Government policy for the procurement of food from local family farming in Brazilian public institutions. *Foods* 10(7), 1604. <https://doi.org/10.3390/foods10071604>
- Swensson L.F.J., Hunter D., Schneider S. i in., 2021. Public food procurement as a game changer for food system transformation. *Lancet Planet. Health* 5(8), e495–e496. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00176-5)
- Swensson L.F.J., Tartanac F., 2020. Public food procurement for sustainable diets and food systems: the role of the regulatory framework. *Glob. Food Secur.* 25. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100366>
- The Economist Group, 2022. Global Food Security Index 2022.
- United Nations, 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1.
- United Nations, 2025. Food. <https://www.un.org/en/global-issues/food> [dostęp: 11.02.2025].
- United Nations, 1975. Report of the World Food Conference, Rome 5–16 November 1974. New York. <https://digitallibrary.un.org/record/701143?v=pdf#files> [dostęp: 20.02.2025].

- Urząd Zamówień Publicznych, 2024. Sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2023 r., Warszawa.
- Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych. Dz.U. z 2004 r. Nr 19, poz. 117. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20040190177>
- Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych. Dz.U. z 2019 r., poz. 2019 <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190002019>
- Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o rezerwach strategicznych. Dz.U. z 2021 r., poz. 255. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210000255>
- Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o jakości handlowej artykułów rolno-spożywczych. Dz.U. z 2001 r. Nr 5, poz. 44. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20010050044>
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia. Dz.U. z 2006 r. Nr 171, poz. 1225. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20061711225>
- Van Berkel J.R.J., Schotanus F., 2021. The impact of “procurement with impact”: measuring the short-term effects of sustainable public procurement policy on the environmental friendliness of tenders. *J. Public Procure.* 21(3), 300–317. <https://doi.org/10.1108/JOPP-10-2020-0070>
- World Bank, 1986. Poverty and hunger: issues and options for food security in developing countries. Washington DC.
- Zaharia A., Diaconea M.C., Maehle N. i in., 2021. Developing sustainable food systems in Europe: national policies and stakeholder perspectives in a four-country analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(14), 7701. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147701>
- Zielińska-Chmielewska A., Żukovskis J., Wielicka-Regulska A. i in., 2023. Green public procurement as a tool for sustainable and secure food policy: evidence from Poland. *J. Secur. Sustain.* 13(1), 85–96. <https://doi.org/10.47459/jssi.2023.13.8>

Źródło finansowania: Artykuł został sfinansowany ze środków dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przyznanej Katedrze Ekonomii i Agrobiznesu, numer grantu RKA.SUBB.WRA.19.022.EFI.2025.

Abstract. Food security and a healthy, sustainable nutrition system are among the key challenges facing the European Union and align with the sustainable development goals specified in the 2030 Agenda. Public procurement policy plays an important role in setting standards for the types of food necessary to achieve a healthy and sustainable diet under various conditions. This study aims to introduce the concept of food security, assess Poland’s position in comparison with selected European Union countries in relation to key components of food security, and indicate the role of state purchasing policy in shaping food security. This study used indicator analysis based on the Global Food Security Index (GFSI). It also considers the value of the Polish public procurement market for food supplies in 2014–2023. The research showed that Poland’s position in terms of food security remains relatively stable, although it still faces challenges related to the resilience of the food system (21st position among 113 countries). The state’s purchasing policy, especially in the area of public procurement for food, can be an important tool for supporting national agricultural production, shortening supply chains, and ensuring universal access to high-quality food. Research findings indicate that there was a marked increase in the value of public food supply contracts in 2022 and 2023.

Keywords: food security, agricultural production, public procurement, Global Food Security Index

Otrzymano/Received: 13.10.2025
Zaakceptowano/Accepted: 1.12.2025
Opublikowano/Published: 27.03.2026

Niniejsza publikacja jest efektem stażu naukowego odbywanego w Katedrze Ekonomii i Agrobiznesu Wydziału Agrobiżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.



¹ Wydział Informatyki i Zarządzania, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

² Instytut Rolnictwa, Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

* Corresponding author: stanislaw_samborski@sggw.edu.pl

MICHAŁ SYNOŚ¹  <https://orcid.org/0009-0006-4234-1470>

STANISŁAW MAREK SAMBORSKI^{2*}  <https://orcid.org/0000-0003-1147-5805>

Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu pojazdów rolniczych

Application of satellite navigation in the positioning of agricultural vehicles

Abstrakt. Obecnie systemem rolnictwa, w którym wykorzystuje się technologicznie najbardziej zaawansowane rozwiązania, jest rolnictwo precyzyjne. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań stosowanych w rolnictwie precyzyjnym są systemy pozycjonowania ciągników, kombajnów i maszyn (ang. guidance systems), nazywane systemami prowadzenia równoległego. Rozwiązania te umożliwiają precyzyjne prowadzenie pojazdów, nawet w trudnych warunkach, takich jak noc, mgła czy kurz, a także gdy nie wytyczono ścieżek technologicznych. Korzystanie z takiego systemu redukuje nakładanie się przejazdów, co zmniejsza zużycie paliwa oraz pozostałych środków produkcji, a w konsekwencji emisję gazów cieplarnianych. Celem opracowania było porównanie aktualnie dostępnych na polskim rynku systemów pozycjonowania pojazdów rolniczych, uwzględniając ich zastosowania, dostępne funkcje, dokładność i łatwość obsługi.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, prowadzenie równoległe, GNSS, RTK, DGNS, SBAS, PPP

WSTĘP

Rolnictwo to jedna z podstawowych dziedzin gospodarki, której celem jest uzyskiwanie produktów roślinnych i zwierzęcych w wyniku uprawy i hodowli roślin oraz chowu i hodowli zwierząt gospodarskich [Zimny 2003]. Rolnictwo to także dziedzina naszej działalności, w której wprowadzane są nowe technologie. Obecnie systemem, który wykorzystuje technologicznie najbardziej zaawansowane rozwiązania, jest rolnictwo precyzyjne (ang. precision agriculture, precision farming). Według Międzynarodowego Stowarzyszenia Rolnictwa Precyzyjnego (ang. International Society of Precision Agriculture – ISPA) rolnictwo precyzyjne jest strategią gospodarowania, która uwzględnia zmienność czasową i przestrzenną, aby poprawić zrównoważenie produkcji rolnej. W raporcie Government Accountability Office z 2024 r. [<https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>] rolnictwo precyzyjne zdefiniowano jako gromadzenie danych mających wskazać lokalizację i określony czas. Celem tych działań jest poprawa gospodarowania zasobami przez precyzyjne stosowanie środków produkcji, takich jak: woda, nawozy, pestycydy i pasze, co prowadzi do bardziej racjonalnej produkcji rolnej. Coraz częściej, jeśli w gospodarstwie wykorzystywane są rozwiązania rolnictwa precyzyjnego, używa się terminów, jak np. rolnictwo cyfrowe (ang. digital agriculture), rolnictwo inteligentne (ang. smart farming) czy rolnictwo

Cytowanie: Synoś M., Samborski S., 2026. Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu pojazdów rolniczych. *Agron. Sci.* 81(1), 33–48. <https://doi.org/10.24326/as.2026.5619>

4.0 [GeoPard Agriculture 2025]. W rolnictwie precyzyjnym poza wieloma innymi rozwiązaniami wykorzystuje się także dane rejestrowane zdalnie przez satelity dostarczające informacji m.in. o stanie upraw, jakości gleb oraz warunkach atmosferycznych. Odrębną grupą rozwiązań, które również funkcjonują dzięki dostępowi do danych z satelitów, są systemy pozycjonowania ciągników, kombajnów i maszyn (ang. guidance systems) nazywane systemami prowadzenia równoległego. Rozwiązania te wykorzystują nawigację satelitarną do określenia położenia i ruchu odbiorników nawigacyjnych zamontowanych na różnych pojazdach. Nazwa „system prowadzenia równoległego” nawiązuje do wykonywania kolejnych przejazdów ciągnikiem z maszyną, kombajnem lub innym pojazdem, równolegle do przejazdu poprzedniego, z precyzją zależną od dokładności, którą oferuje dany system. W użyciu funkcjonuje też określenie „nawigacja” zamiast „system prowadzenia równoległego”, gdyż każdy taki system prowadzi pojazd przy użyciu systemu nawigacji satelitarnej. Do funkcjonowania nawigacji niezbędne jest wykorzystanie globalnych systemów pozycjonowania satelitarnego (ang. Global Navigation Satellite Systems – GNSS) [Januszewski 2009], gdyż swoim zasięgiem pokrywają całą Ziemię. System prowadzenia równoległego umożliwia m.in. precyzyjne prowadzenie ciągnika po zadanej trajektorii, nawet przy braku założonych ścieżek technologicznych, w prawie każdych warunkach, także w ciemności, mgle i kurzu. Korzystanie z takiego systemu redukuje nakładanie się przejazdów, co obniża zużycie paliwa oraz pozostałych środków produkcji. Mniejsze zużycie paliwa ogranicza emisję spalin, zaś mniejsze zużycie środków produkcji redukuje emisję gazów cieplarnianych. System prowadzenia równoległego pozwala także lepiej zorganizować pracę oraz wykonywać zabiegi agrotechniczne w mniej sprzyjających warunkach, co poprawia ich terminowość. Rozwiązania takie umożliwiają również wprowadzanie nowych technologii uprawy. Przykładem jest uprawa pasowa (ang. strip-till), która polega na spulchnianiu pasów gleby tylko w pobliżu rzędów roślin, przy równoczesnym stosowaniu nawozów, co tworzy optymalne warunki do kiełkowania roślin [Laskowska 2017]. System prowadzenia równoległego pozwala także na wykonanie siewu w tym samym rzędzie co poprzednim razem (ang. on-row), czyli tak aby nowo wysiane rośliny wykorzystywały naturalne kanały powietrzno-kapilarne powstałe po starych korzeniach poprzedniej rośliny, co poprawia podsiąkanie wody przy jej niedoborach. Alternatywnie, wykorzystując ten sam system, można wykonać siew między poprzednimi rzędami roślin (ang. inter-row) [Hollaway 2024]. W literaturze dostępne są przykłady wyników badań, które potwierdzają korzyści wynikające z wdrażania systemów prowadzenia równoległego. Topçueri i Keskin [2019] wykazali istotne zwiększenie dokładności oprysków dzięki zastosowaniu GNSS. Uśredniony dla kilku upraw błąd średniokwadratowy (ang. root mean square error – RMSE) przy wykorzystaniu prowadzenia równoległego z korekcją RTK (ang. real time kinematic) w trakcie uprawy gleby, siewu i oprysku w uprawach kukurydzy, bawełny i orzeszków ziemnych wyniósł $7,5 \pm 1,7$ cm, podczas gdy w przypadku ręcznego prowadzenia przez operatora – $100,5 \pm 27,8$ cm. Z kolei Vellidis i in. [2014] stwierdzili wzrost plonu orzeszków ziemnych o $451\text{--}579 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, co wynikało z ograniczenia strat w trakcie zbioru, gdy maszyna do pierwszego etapu zbioru (tzw. odwracania roślin) była wyposażona w system prowadzenia z równoległego z korekcją RTK. Jak podają Scarfone i in. [2021], wdrożenie systemu GNSS umożliwiło zwiększenie dziennego areału obsianego pola pszenicą ozimą o 1,2 ha oraz obniżenie kosztów siewu o 2,4%. Shinnars i in. [2012] wykazali, że użycie systemu prowadzenia równoległego pozwoliło na redukcję nakładania przejazdów wykonywanych kosiarką z 5,03% do 2,34%. System GNSS był nawet pięciokrotnie dokładniejszy niż doświadczony operator w trudnych warunkach terenowych Baio i Moratelli [2011].

Zalety systemów prowadzenia równoległego, które widoczne są tuż po ich wdrożeniu, sprawiają, że rozwiązania te są coraz częściej wykorzystywane w polskich gospodarstwach.

Celem opracowania było porównanie aktualnie dostępnych na polskim rynku rozwiązań wykorzystywanych do pozycjonowania (prowadzenia równoległego) pojazdów rolniczych, uwzględniając ich zastosowania, dostępne funkcje, dokładność i łatwość obsługi.

Wykorzystywane systemy radionawigacyjne

Każdy GNSS składa się z trzech segmentów. Pierwszy to segment kosmiczny, który tworzą konstelacje satelitów. Drugi to segment kontroli naziemnej, w skład którego wchodzi stacja centralna i stacje monitorujące. Ostatnim elementem GNSS jest segment użytkownika, który obejmuje odbiorniki nawigacyjne, zazwyczaj zamontowane na pojazdach, ale również w przedmiotach codziennego użytku,

np. zegarkach, smartfonach, oraz w urządzeniach pomiarowych używanych przez geodetów i urządzeniach do synchronizacji czasu.

Najstarszym i najbardziej znanym systemem nawigacji satelitarnej jest GPS-NAVSTAR (ang. Global Positioning System – Navigation Signal Timing and Ranging) [United States Department of Transportation 2008], w skrócie nazywany GPS. Trzydzieści jeden satelitów tego systemu umieszczonych jest na sześciu stałych orbitach kołowych typu MEO (ang. Medium Earth Orbit), na wysokości 20 162 km. System ten wykorzystuje dwa podstawowe kanały transmisji sygnału radiowego, tj. L1 oraz L2 [Kaniewski 2006, Januszewski 2009], między satelitami, które wysyłają sygnał, a odbiornikami GNSS zamontowanymi, w przypadku produkcji roślinnej, na ciągnikach, kombajnach i maszynach. Dostęp do kanału L1 daje możliwość określania pozycji odbiornika GPS z dokładnością do 30 m [Kaniewski 2006]. Do komunikacji między odbiornikiem GPS a satelitą wykorzystywane jest kodowanie C/A (ang. coarse acquisition) dostępne tylko na kanale L1 oraz P (ang. precise) dostępne na obu kanałach L1 oraz L2. Użytkownik z dostępem jedynie do kodowania C/A nie odbierze sygnału z kanału L2. Zatem do precyzyjnego określania położenia np. ciągnika wykorzystuje się jednocześnie kanały L1 oraz L2, co zapewnia dziesięciokrotnie większą dokładność pozycjonowania niż przy wykorzystaniu tylko kanału L1 [Kaniewski 2006]. W systemie GPS-NAVSTAR Block III dostępny jest nowy sposób modulacji (zmiany parametrów sygnału), przeznaczony do użytku cywilnego, określany jako RC (ang. replacement code). W przypadku kanału L1 kodowanie to oznaczane jest jako L1C i ma zastąpić dotychczasowy kod C/A. Na kanale L2 wprowadzono dwa nowe sposoby modulacji: CM (ang. civil moderate) i CL (ang. civil long), służące do generowania sygnału znanego jako L2C [Flores 2020, Lopez 2021a]. Nowe wersje modulacji zapewniają większą interoperacyjność systemu GPS-NAVSTAR z innymi systemami GNSS, w tym głównie z systemem Galileo. Ponadto kanał L2C jest bardziej odporny na zakłócenia w porównaniu z kanałem L2 oraz charakteryzuje się większą stabilnością sygnału na obszarach leśnych i silnie zurbanizowanych. Dodatkowo GPS emituje trzy sygnały: L3 używany w systemie NUDET (ang. nuclear detonation detection system) [Holmes 2016] – do wykrywania detonacji jądrowych, L4 służący do badania jonosfery i korekcji sygnałów oraz L5 przeznaczony dla cywilnego lotnictwa [<https://www.gps.gov/new-civil-signals>].

Rosyjskim odpowiednikiem GPS-NAVSTAR jest GLONASS – Globalny System Nawigacji Satelitarnej (ros. *Глобальная навигационная спутниковая система* – ГЛОНАСС). System ten jest dostępny globalnie, również do użytku cywilnego. Satelity GLONASS zapewniają większą precyzję działania systemu na większych szerokościach geograficznych (bliżej biegunów Ziemi) niż GPS-NAVSTAR [Russian Institute of Space Device Engineering 2008]. Wszystkie 24 satelity systemu GLONASS umieszczone są na orbitach MEO na wysokości 19 100 km. Charakterystyczne dla systemu GLONASS jest zastosowanie wielu częstotliwości sygnału (m.in. L1 oraz L2), dla poszczególnych satelitów. Dokładność systemu GLONASS w określaniu pozycji wynosi od 5 do 10 m [Russian Institute of Space Device Engineering 2008].

Obecnie najdokładniejszym systemem nawigacji satelitarnej jest uruchomiony w 2016 r. przez Europejską Agencję Kosmiczną (ang. European Space Agency – ESA) system Galileo. Trzydzieści satelitów (w tym 6 zapasowych) wchodzących w skład tego systemu porusza się po trzech orbitach MEO, na wysokości 23 222 km. Sygnały nawigacyjne generowane przez satelity nadawane są na trzech kanałach: E1, E5 oraz E6. Ponadto kanał E5 ma dwa warianty: E5a oraz E5b. Dodatkowo dostępny jest wariant E6b wykorzystywany do transmisji korekt satelitarnych PPP (opisanych w dalszej części artykułu). System Galileo oferuje następujące usługi:

- OS (ang. Open Service) – ogólnodostępną zapewniającą synchronizację czasu oraz ustalanie lokalizacji z dokładnością do 2 m. Jest to usługa interoperacyjna z innymi systemami, m.in. z GPS-NAVSTAR, i wykorzystuje do nadawania sygnału parami kanały: E1 i E5a lub E1 i E5b [Kouwenhoven 2025a];
- HAS (ang. High Accuracy Service) – o dużej dokładności lokalizacji do 0,2 m, która wykorzystuje kanały E1, E5a, E5b oraz E6 i E6b [Kouwenhoven 2025b];
- PRS (ang. Public Regulated Service) – przeznaczoną dla infrastruktury krytycznej, zatem w pełni zaszyfowaną i niedostępną publicznie, o dokładności do 6,5 m [<https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>]. W przypadku tej usługi ważna jest odporność na zakłócenia, dostępność sygnału, szyfrowanie oraz niezależność funkcjonowania;
- SAR (ang. Search and Rescue Service) – przeznaczoną tylko dla służb ratowniczych MEOSAR (ang. Medium-Altitude Earth Orbiting Search and Rescue). Nie jest dostępna na obszarze całej Ziemi, lecz tylko na terenie Europy [<https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>].

Usługa ta pozwala na lokalizację sygnałów alarmowych z dokładnością do 5 km, z prawdopodobieństwem >99%. Wartością mierzoną jest skuteczność wykrywania sygnału ratunkowego, a nie precyzyjne pozycjonowanie.

Kolejnym globalnym systemem pozycjonowania jest chiński BeiDou (znany również jako COMPASS lub BDS). BeiDou spośród pozostałych GNSS wyróżnia umieszczenie satelitów na trzech orbitach o różnych wysokościach: obecnie 27 satelitów znajduje się na orbicie MEO na wysokości 21 500 km, 5 satelitów umieszczonych jest na orbicie geostacjonarnej GEO (ang. Geosynchronous Equatorial Orbit) [Lea 2015] z nachyleniem 0° , na wysokości 35 768 km i 3 satelity umieszczone są na orbicie IGSO (ang. Inclined Geosynchronous Orbit), na wysokości 35 768 km [Lea 2015]. Na tej wysokości okres obiegu satelity po orbicie jest równy okresowi obrotu Ziemi wokół własnej osi względem gwiazd. Sygnały są nadawane na kanałach: B1/B1l, B1c (kompatybilnych z systemami GPS L1 i Galileo E1), B2/B2l, B2a i B2b oraz B3/B3l, z czego tylko kanał B3/B3l jest szyfrowany i przeznaczony dla służb wojskowych [China Satellite Navigation Office 2016]. Ten ostatni kanał przesyłania umożliwia określanie pozycji odbiornika z dokładnością do 10 cm [China Satellite Navigation Office 2016]. BeiDou w ogólnodostępnej wersji dwuzakresowej, przy wykorzystaniu kanałów B1/B1l oraz B2/B2l, oferuje dokładność pozycjonowania do 10 m. Satelity systemu BeiDou umieszczone na orbicie GEO nadają poprawki korekcyjne SBAS (opisane w dalszej części artykułu) na kanałach B1c i B2a, co pozwala uzyskać większą dokładność pozycjonowania, sięgającą nawet do 20–30 cm.

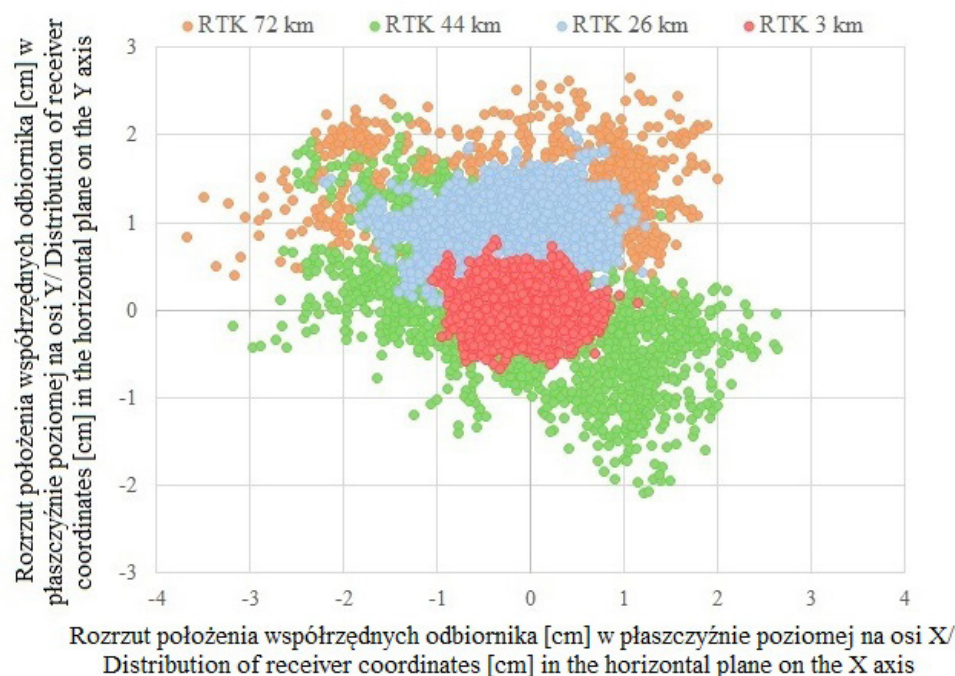
Ostatnim opisywanym systemem GNSS jest japoński regionalny system nawigacji satelitarnej o nazwie QZSS (ang. Quasi-Zenith Satellite System) [Choy i in. 2013], który został stworzony w celu poprawy dokładności i niezawodności nawigowania w Azji Wschodniej i Oceanii. Konstelacja QZSS składa się z czterech satelitów: trzy poruszają się na orbitach typu IGSO, z nachyleniem 43° , na wysokości 35 768 km, natomiast czwarty znajduje się na orbicie GEO, na wysokości 35 768 km. Taka konfiguracja sprawia, że przynajmniej jeden satelita jest zawsze widoczny blisko zenitu nad Japonią. System QZSS nadaje na kanałach: L1-C/A, L1C, L2C, L5 i wykorzystywany razem z sygnałem z satelitów konstelacji GPS-NAVSTAR zapewnia dokładność na poziomie 1 m, zaś przy użyciu kanału L1-SAIF zapewnia dokładność do 0,3 m. Natomiast najdokładniejszy jest eksperymentalny sygnał nadawany na kanale L6-LEX, który pozwala uzyskać dokładność pozycjonowania do 3 cm [Lopez 2021b]. Dzięki globalnej charakterystyce systemów GNSS odbiorniki w Europie mogą również odbierać sygnały z satelitów QZSS, ale nie będą one tak mocne ani precyzyjne, jak na obszarze Azji i Pacyfiku. W związku z tym w Europie QZSS jest wykorzystywany do wspomagania innych GNSS w ograniczonym zakresie [Choy i in. 2013].

Wspomaganie systemów GNSS

Dokładność pozycjonowania pojazdów, w tym np. ciągników i maszyn wyposażonych w odbiorniki GNSS, obarczona jest błędami. Dlatego wyznaczone odległości między odbiornikami GNSS umieszczonymi na pojazdach a satelitami (nadajnikami) nazywa się pseudoodległościami [Lamparski i in. 1994]. Do dokładniejszego określania położenia odbiornika GNSS w czasie rzeczywistym wykorzystuje się metodę RTK. Przy użyciu klasycznych systemów GNSS pozycja odbiornika ustalana jest na podstawie obliczeń wykonanych po pomiarze (ang. post-processing) czasu, jaki potrzebuje sygnał, aby dotrzeć z satelity do odbiornika. W przypadku metody RTK odbiornik GNSS mierzy różnicę fazową fali nośnej sygnału satelitarnego, czyli przesunięcie fazowe między sygnałem odebrany z satelity a sygnałem generowanym lokalnie w odbiorniku. Pomiary te są bardziej precyzyjne niż pomiary samego kodu (ang. code phase), ale wymagają wyznaczenia nieoznaczoności fazowej (ang. integer ambiguity), czyli określenia, ile pełnych cykli fali miało miejsce między satelitą a odbiornikiem GNSS [Wang i in. 2021]. Porównanie wyników pomiarów z odbiornika GNSS oraz ze stacji referencyjnej (bazowej) pozwala na obliczenie błędu i wyznaczenie korekty różnicowej, która umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania ciągnika lub maszyny w zakresie 1–3 cm [Oszczak i in. 2009]. Obecnie stacje referencyjne dystrybuują sygnał RTK poprzez nadajniki radiowe UHF (ang. ultra high frequency) lub przy użyciu telefonii GSM (ang. Global System for Mobile Communications). Wadą metody RTK jest konieczność zapewnienia ciągłej łączności między stacją referencyjną a odbiornikiem GNSS. Duże znaczenie ma również odległość odbiornika od stacji. Wraz ze wzrostem tej odległości zwiększa się wpływ błędów geometrycznych i jonosferycznych na określanie położenia odbiornika GNSS względem stacji referencyjnej, co przedstawiono na rycinie 1 [<https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk>].

Rycina 1. Rozkład współrzędnych odbiornika w płaszczyźnie poziomej dla stacji referencyjnych RTK (obsługiwanych przez system Aktywnej Sieci Geodezyjnej) znajdujących się w różnych odległościach od odbiornika GNSS przy użyciu sygnałów GPS i GLONASS [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk/]

Figure. 1. Coordinate distribution in the horizontal plane for reference RTK stations (served by the ASG-EUPOS system) located at different distances from a GNSS receiver using GPS and GLONASS signals [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk/]



W Polsce funkcjonuje państwowy system Aktywnej Sieci Geodezyjnej (ASG-EUPOS) składający się z 120 równomiernie rozmieszczonych na terenie całego kraju stacji referencyjnych, które zwiększają dokładność pozycjonowania wszelkich pojazdów i urządzeń wyposażonych w odbiorniki GNSS [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk/]. Komunikacja między odbiornikami GNSS a stacjami referencyjnymi odbywa się z użyciem telefonii GSM oraz internetu przy wykorzystaniu protokołu NTRIP (ang. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), który pozwala na przesyłanie korekty w czasie rzeczywistym [Oszczak i in. 2009]. Na rynku dostępne są zarówno płatne, jak i bezpłatne korekty sygnału. Należy jednak pamiętać, że w okresie intensywnego wykorzystywania systemu prowadzenia równoległego, np. wiosennych prac polowych, rozwiązania darmowe mogą tracić sygnał i wobec tego nie zapewniać deklarowanej precyzji nawigowania ze względu na obciążenie dużą liczbą użytkowników, zwłaszcza w trudnym terenie i przy złych warunkach atmosferycznych.

Drugą techniką, która umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania obiektów na poziomie centymetrowym, jest precyzyjne pozycjonowanie punktowe (ang. precise point positioning – PPP). Zaletą stosowania PPP w porównaniu z RTK jest to, że zapewnia globalną dostępność bez potrzeby korzystania z pobliskich stacji referencyjnych. PPP opiera się na wykorzystaniu precyzyjnych danych o położeniu orbit satelitów GNSS oraz korekt zegarowych dodawanych do komunikatu nawigacyjnego. Kanał E6b systemu Galileo, kanał B2b systemu BeiDou i eksperymentalny kanał L6-LEX systemu QZSS pozwalają na wykorzystanie techniki PPP [Choy i in. 2013, Wei i in. 2024]. W przypadku systemów GPS oraz GLONASS możliwe jest zastosowanie techniki PPP tylko wtedy, gdy odbiornik GNSS jest statyczny. Wówczas można uzyskać dokładność pozycjonowania nawet rzędu milimetrów przy 24-godzinnych sesjach obserwacyjnych [Wei i in. 2024]. Jednak dla rolnictwa precyzyjnego ta technika pozycjonowania jest nieprzydatna, gdyż systemy GPS-NAVSTAR i GLONASS nie mają wystarczającej wydajności kanału transmisji, by rozwiązanie to wykorzystywać, gdy pojazdy są w ruchu.

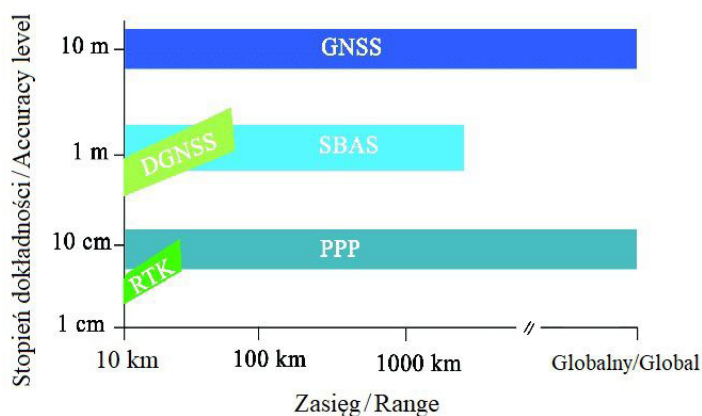
Pozycjonowanie różnicowe, znane jako DGPS (ang. differential GPS) lub DGNSS (ang. differential GNSS) [Pereira 2018], jest stosowane w celu poprawy dokładności przez takie systemy, jak: GPS-NAVSTAR, GLONASS, BeiDou i Galileo. Technika ta opiera się na wykorzystaniu dodatkowej stacji bazowej (referencyjnej) jako odbiornika o znanych współrzędnych geograficznych do wykonania

korekcji położenia w czasie rzeczywistym właściwego odbiornika GNSS zamontowanego na pojeździe. Korekta jest następnie przesyłana do tego odbiornika GNSS znajdującego się w ruchu, w odległości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów od stacji bazowej [Pereira 2018]. Pomiar różnicowy opiera się na założeniu, że jego błędy w obszarze wokół punktu odniesienia (stacji referencyjnej) i odbiornika są zbliżone, a w idealnym przypadku identyczne. Jeśli dwa odbiorniki (stacja bazowa i odbiornik, np. na ciągniku) znajdują się blisko siebie, sygnały satelitarne docierające do nich przechodzą przez ten sam obszar atmosfery i teren, zatem są obarczone podobnymi błędami propagacji. Na tej podstawie jeden z odbiorników może posłużyć do pomiaru wartości błędu, a następnie przekazać uzyskane wyniki tego pomiaru do drugiego odbiornika, który jest w ruchu [Pereira 2018]. Znając położenie satelitów na orbicie oraz współrzędne stacji bazowej, oblicza się teoretyczną odległość między anteną stacji a satelitą. Wymaga to idealnej synchronizacji zegarów nadajnika (satelity) i odbiornika GNSS zamontowanego na pojeździe. Odległość między odbiornikiem GNSS umieszczonym w stacji bazowej a satelitą oblicza się, mnożąc czas propagacji sygnału przez prędkość światła. Po porównaniu tej odległości z pseudo-odległością zmierzoną z wykorzystaniem odbiornika GNSS znajdującego się na pojeździe uzyskuje się korektę różnicową. Pomimo że DGPS działa na podobnej zasadzie jak RTK, to wykorzystanie DGPS pozwala na uzyskanie dokładności pozycjonowania tylko w zakresie od 20 do 30 cm. Jednak DGPS stanowi znaczną poprawę dokładności pozycjonowania w porównaniu ze standardowymi pomiarami GNSS i charakteryzuje się również dużą powtarzalnością pomiarów, co jest bardzo ważne w przypadku systemów prowadzenia równoległego. System DGPS jest łatwiejszy do wdrożenia niż RTK i ma mniejsze wymagania sprzętowe. Dlatego też często ta metoda korekcji pozycjonowania jest wykorzystywana jako podstawowa w systemach prowadzenia równoległego. Najbardziej popularnym rodzajem pozycjonowania różnicowego DGPS, o zasięgu regionalnym lub nawet kontynentalnym, jest SBAS (ang. Satellite-Based Augmentation System) [Caro 2021]. System ten wykorzystuje dodatkowo satelity geostacjonarne, jak również sieci naziemnych stacji referencyjnych. Jednak do przesyłania wartości poprawek służą satelity, a nie bezpośrednie połączenia ze stacjami. SBAS ma regionalne odmiany wykorzystywane w różnych częściach świata. Do najczęściej używanych w systemach prowadzenia równoległego należą: WASS (ang. Wide Area Augmentation System), EGNOS (ang. European Geostationary Navigation Overlay Service), MSAS (ang. Multi-functional Satellite Augmentation System), GAGAN (ang. GPS Aided Geo Augmented Navigation) [Caro 2021].

Porównanie dokładności pozycjonowania zapewnionej przez opisane powyżej systemy GNSS przedstawiono na rycinie 2.

Rycina 2. Porównanie dokładności pozycjonowania zapewnianej przez RTK, PPP, SBAS, DGNSS i standardowy GNSS [Hussain i in. 2020]

Figure 2. Comparison of positioning accuracy provided by RTK, PPP, SBAS, DGNSS, and Standard GNSS [Hussain et al. 2020]



Dostępne na rynku systemy prowadzenia równoległego

W niniejszym rozdziale opisano rozwiązania prowadzenia równoległego dostępne na rynku polskim w pierwszej połowie 2025 r., uwzględniając ich funkcje, dokładność pozycjonowania, łatwość

obsługi i koszt. Wybór odpowiedniego rozwiązania jest ważny dla rolnika, który dąży do usprawnienia i optymalizacji wykonywania prac w gospodarstwie przy użyciu systemów prowadzenia równoległego, którego zastosowania są ograniczone coraz częściej tylko wyobraźnią ich użytkowników. Zestawienie szczegółów technicznych ww. systemów ze względu na ich obszerność przedstawiono w tabelach 1–3.

Pierwszym oferowanym rozwiązaniem jest system CHCNAV NX510 SE RTK produkowany przez chińską firmę CHC Navigation – CHCNAV (tabela 1). Rozwiązanie to wykorzystuje kontroler naprowadzania wspierany przez systemy pozycjonowania: GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo, BeiDou i QZSS [<https://www.chcpolska.pl/nx510se>]. Do uzyskania łączności między odbiornikiem GNSS a stacjami referencyjnymi wykorzystywany jest modem 4G oraz modem radiowy UHF. Takie rozwiązanie umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania RTK, które korzysta z lokalnych sieci LTE (ang. long term evolution) lub bezpośredniego połączenia radiowego ze stacją bazową GNSS. Zestaw prowadzenia równoległego zawiera antenę, panel sterowania (wyświetlacz) oraz kierownicę wraz z okablowaniem. Budowa systemu umożliwia jego przenoszenie między pojazdami zarówno nowymi, jak i starszymi. System CHCNAV NX510 SE RTK pozwala na jazdę równoległą ciągnika, który współpracuje z maszynami przy użyciu standardu komunikacji ISOBUS stosowanego w rolnictwie i leśnictwie pozwalającego na współpracę ciągników i innych pojazdów z maszynami różnych producentów.

Kolejnym dostępnym na rynku rozwiązaniem jest zestaw Trimble CAN Autopilot amerykańskiej firmy Trimble, w skład którego wchodzi wyświetlacz XCN-1050 oraz antena NAV-900 współpracująca z systemami: GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo oraz BeiDou [<https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900/>]. Antena NAV-900 wykorzystująca metodę RTK (po wykupieniu subskrypcji) do korekcji sygnału, umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania większej niż 2,5 cm. Bezpłatny system firmy Trimble oferuje dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu sieci EGNOS (SBAS) na poziomie ± 15 cm. Dodatkowo w ramach odrębnego pakietu dostępny jest zaawansowany system EZ-Pilot Pro do precyzyjnej nawigacji i automatycznego sterowania maszyn rolniczych. System ten po włączeniu przejmuje kontrolę nad pojazdem, automatycznie dostosowując jego prowadzenie do warunków terenowych, topografii terenu czy kierunku jazdy. Takie prowadzenie pojazdu jest możliwe przy użyciu zintegrowanego IMU (ang. inertial measurement unit), czyli jednostki łączącej w sobie funkcje akcelerometru, żyroskopu i magnetometru, która pozwala na pomiar przyspieszenia, prędkości kątowej oraz ocenę położenia w trzech wymiarach. System prowadzenia równoległego firmy Trimble może komunikować się większością maszyn rolniczych dostępnych na rynku przy użyciu standardu ISOBUS [<https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900/>].

Polska firma Hydra System oferuje system prowadzenia równoległego – HYDRA DRIVE PRO [https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html]. W skład zestawu wchodzi odbiornik GNSS o nazwie Hydra Box o dokładności pozycjonowania w zakresie od 20 do 30 cm lub odbiornik GNSS o nazwie Hydra Box RTK o precyzji w zakresie do 2–3 cm. System HYDRA DRIVE PRO zawiera także stację bazową Hydra Base i moduł Hydra Auto Wheel do automatycznego prowadzenia pojazdów oraz aplikację HYDRA NAV. System ten umożliwia komunikację z maszynami przy użyciu standardu ISOBUS i pozwala na automatyczną lub manualną kontrolę sekcji oraz stosowanie zmiennej dawki środków produkcji. Stacja bazowa zawarta w zestawie eliminuje potrzebę wykupowania osobnych abonamentów RTK dla odbiorników GNSS, ponieważ umożliwia ona jednocześnie przesyłanie korekt do wielu odbiorników GNSS, transmitując sygnał przy użyciu łącza LTE z użyciem telefonu komórkowego lub przez moduł GSM. Ograniczeniem systemu HYDRA DRIVE PRO jest wykorzystanie sygnału tylko z konstelacji satelitów: GPS-NAVSTAR oraz GLONASS [https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html].

Kolejnym systemem prowadzenia równoległego dostępnym na rynku jest FJDynamics AT2 RTK chińskiej firmy FJDynamics. System ten może komunikować się z dużą liczbą maszyn rolniczych przy użyciu standardu ISOBUS. Korekcja pozycjonowania jest dostępna przy użyciu metody SBAS, metodą RTK w ramach opcjonalnej, płatnej subskrypcji, a także poprzez bezpłatne korzystanie z poprawek RTK (np. z ASG-EUPOS) [<https://agriculture.fjdynamics.com/pl/products/fjd-at2-auto-steer-system>]. W porównaniu z innymi rozwiązaniami system FJDynamics AT2 RTK umożliwia precyzyjne pozycjonowanie pojazdów przy użyciu techniki PPP, bez wykorzystania stacji bazowej. Rozwiązanie to jest możliwe, gdyż system ten wykorzystuje wybrane kanały systemów Galileo, QZSS i BeiDou, które pozwalają na dużą wydajność transmisji sygnału. Dodatkowo możliwa jest integracja FJDynamics AT2 RTK z systemem zarządzania gospodarstwem FMS (ang. Farm Management System), który gromadzi i analizuje dane dotyczące upraw oraz pracy ciągników i maszyn.

Tabela 1. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część I
Table 1. Summary of technical data of the guidance systems, part I

Nazwa/Name	Konstelacje satelitów/ Satellite constellations	Dokładność pozycjonowania/ Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
CHCNAV NX510 SE RTK	– GPS – BeiDou – Galileo – GLONASS – QZSS	– RTK $\pm 2-3$ cm – DGPS $\pm 20-30$ cm	– ekran dotykowy/ touchscreen 10.1" – wielojęzyczne oprogram. AgNav/ multilingual software: AgNav – brak dodatkowych opłat za RTK/ no RTK fees – ISOBUS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
Trimble CAN Autopilot	– GPS – GLONASS – Galileo – BeiDou	– RTK $\pm 2,5$ cm – EGNOS ± 15 cm	– ekran/ screen 10" – EZ-Pilot Pro – ISOBUS – wi-fi – Bluetooth
HYDRA DRIVE PRO	– GPS – GLONASS	– RTK $\pm 2-3$ cm – DGPS $\pm 20-30$ cm	– ekran/ screen 10" – stacje bazowe zasięg do 20 km/ base stations range up to 20 km – brak abonamentu, RTK w cenie/ no subscription, RTK included in the price – obsługa RTK ASG-EUPOS/ supports RTK ASG-EUPOS – ISOBUS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
FJDynamics AT2 RTK	– GPS – GLONASS – BeiDou – Galileo – QZSS	– RTK $\pm 2,5$ cm – SBAS $\pm 10-20$ cm	– ekran/ screen 10" – stacje bazowe zasięg do 30 km/ base stations range up to 30 km – żyroskop/ gyroscope IMU – obsługa RTK ASG-EUPOS / support RTK ASG-EUPOS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
Sveaverken F100 Auto Steer System	– GPS – GLONASS – BeiDou – Galileo	– RTK $\pm 2,5$ cm – SBAS $\pm 10-20$ cm – PPP $\pm 2-10$ cm	– ekran /screen 10,1" – żyroskop IMU/ gyroscope IMU – ISOBUS – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – 4G/LTE – wi-fi – bluetooth
Ag Leader InCommand 1200	Antena/ Antenna Ag Leader 6500: – GPS – GLONASS Antena / Antenna Ag Leader 7500: – GPS – GLONASS – Galileo – BeiDou	– RTK $\pm 2,5$ cm – WAAS $\pm 15-30$ cm	– ekran/ screen 12,1" – ISOBUS – multiple product control 1, większa ilość dodatkowo płatna/ additional products at extra cost – korekty RTK rok w cenie, następnie odpłatnie lub darmowe RTK ASG-EUPOS/ 1-yr RTK included in the price, then paid or free ASG-EUPOS – współpraca z InCab/ with compatible InCab – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth (z Ag Leader 7500) (with a Ag Leader 7500 receiver)

Tabela 2. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część II
Table 2. Summary of technical data of the guidance systems part II

Nazwa Name	Konstelacje satelitów Satellite constellations	Dokładność pozycjono- wania Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
JohnDeere AutoTrac	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– SF1 ±15–20 cm – RTK ±2,5 cm	– oprogramowanie do synchronizacji danych/ data sync software JDLink – ISOBUS – integracja z GreenStar 3 2630 lub CommandCenter™ G5™ z AutoTrac/ integration with GreenStar 3 2630 or CommandCenter™ G5™ with AutoTrac – integracja z with InCommand 1200 Ag Leader/ integration with InCommand 1200 Ag Leader – możliwość doposażenia w kierownicę ATU 300/ optional steering wheel ATU 300 – płatna licencja roczna SF-RTK/ annual paid SF-RTK – płatna licencja roczna Guidance/ annual paid Guidance – płatna licencja roczna Essentials/ annual paid Essentials – obsługa RTK ASG-EUPOS jako alternatywa SF-RTK/ support RTK ASG-EUPOS as an alternative SF-RTK – 4G/LTE przez moduł JDLink/ 4G/LTE via JDLink – wi-fi przez moduł JDLink/ wi-fi via JDLink – Bluetooth
Topcon Value Line Steering	antena/antenna XR1: – GPS – GLONASS – GALILEO – BeiDou	– RTK ±2,5 cm – WAAS ±15–30 cm	– rok RTK w cenie, następnie odpłatnie/ 1-yr RTK included in the price, then paid – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – manualny ISOBUS/ manual ISOBUS – wi-fi – Bluetooth
Topcon Premium	antena/antenna AGS-2: – GPS – GLONASS – GALILEO – BeiDou	– RTK ±2,5 cm – WAAS ±15–30 cm – PPP ±2–10 cm	– ISOBUS – integracja z TAP – ang. Topcon Agriculture Platform na 1 rok w cenie, następnie odpłatnie/ TAP integration included in the price 1-yr, then paid – 1 rok RTK w cenie, następnie odpłatnie/ 1-yr RTK included in the price; then paid – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – automatyczna kontrola sekcji, stosowanie zmiennej dawki, automatyczne pobieranie map z platformy TAP/ auto section control, variable rate application, auto map download from platform TAP – 4G/LTE poprzez modem CL-55 lub CL-20/ 4G/LTE via CL-55 or CL-20 – wi-fi – Bluetooth

Szwedzka firma Sveaverken oferuje system automatycznego prowadzenia maszyn rolniczych pod nazwą F100 Auto Steer System. Rozwiązanie to wykorzystuje trzy metody korekcji: RTK, SBAS oraz PPP z użyciem systemów GPS, GLONASS, BeiDou i Galileo [Sveaverken 2022, <https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system>]. F100 Auto Steer System jest dostępny w dwóch wariantach: podstawowym i zaawansowanym, które różnią się oprogramowaniem sterującym. Zaawansowana wersja systemu ma modułową budowę, dzięki czemu można go łatwo dopasować do różnych ciągników i maszyn. Dodatkową funkcjonalnością jest biblioteka maszyn i narzędzi, która pozwala szybko zmieniać ustawienia między różnymi konfiguracjami bez potrzeby ponownej kalibracji. Ponadto zaawansowana wersja umożliwia wznawianie przerwanej pracy od zapamiętanego miejsca na polu [<https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system>]. Wersja podstawowa nie obsługuje zaawansowanych funkcji wykorzystujących protokołów ISOBUS, takich jak: automatyczne zawracanie, które ułatwia manewry na uwrociach, tworzenie cyfrowych granic pól oraz zapisywanie ścieżek przejazdu.

Tabela 3. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część III
Table 3. Summary of technical data of the guidance systems, part III

Nazwa/Name	Konstelacje satelitów/ Satellite constellations	Dokładność pozycjonowania/ Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
AgroOSA	– GPS – GLONASS	– RTK $\pm 2,5$ cm – WAAS $\pm 15\text{--}30$ cm	BASIC: – pojedyncza antena/ single antenna – oprogramowanie/ software easyAgro – WAAS – ISOBUS pełny zestaw/ full kit: – dual RTK – stacja bazowa RTK w zestawie/ RTK base station included – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – karta LTE z Internetem oraz gwarancja na 24 miesiące/ LTE SIM with data + 24-month warranty – integracja z FarmPortal – wi-fi – Bluetooth
RAVEN CR12	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran /screen 12,1” – Slingshot – zdalny zapis danych/ Slingshot – remote data logging – 4G/LTE – modem 4G Slingshot – wi-fi – Bluetooth – PLM RTK odpłatnie/ PLM RTK additional cost – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS
RAVEN CR7	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran/ screen 7” – wi-fi – Bluetooth
Farmnavigator G	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– kompensacja terenu/ terrain compensation – integracja z maszynami/ machine integration – zapisywanie danych na serwerze/ server data logging – własna stacja RTK, cena zależna od wersji/ own RTK station, price depends on version – dopłata do wyświetlacza G12/ G12 display extra cost – platforma Globtrack na rok w cenie, następnie odpłatnie/ Globtrack platform 1-yr included in the price, then paid – 4G/LTE z All in One RTK – wi-fi – Bluetooth

Amerykańska firma Ag Leader jest producentem systemu prowadzenia równoległego – Ag Leader InCommand 1200 z oprogramowaniem SteerCommand Z2 i odbiornikami GNSS – Ag Leader 6500 lub 7500. System Ag Leader InCommand 1200 wykorzystuje metody korekcji WAAS (odpowiednik systemu SBAS działający na terenie głównie Ameryki Północnej) oraz RTK <https://portal.agleader.com/community/s/topic/0TOF400000099NWGAY/guidance-steering>. Moduł GSM wbudowany we wspomnianych antenach umożliwia pobieranie poprawek, które zapewniają dokładność RTK, bez konieczności zakupu własnej stacji referencyjnej. Pierwszy rok abonamentu RTK zawarty jest w cenie zestawu,

zaś roczne przedłużenie licencji jest płatne. Alternatywę stanowią darmowe korekty sygnału bazujące na RTK. Podstawowa wersja systemu firmy Ag Leader umożliwia kontrolowanie stosowania tylko jednego produktu (np. nawozu) za pomocą ISOBUS. Natomiast jednorazowe, płatne rozszerzenie licencji o tzw. Multi-Product Unlock daje możliwość stosowania więcej niż jednego produktu jednocześnie (np. dwóch różnych nawozów, nawozu i środka ochrony roślin, nasion i nawozu itp.) w ramach jednego zabiegu uprawowego. System InCommand 1200 pozwala także na gromadzenie danych i ich przesyłanie na platformę AgFiniti, która umożliwia zdalne dwukierunkowe monitorowanie pracy i wydajności kombajnów, ciągników oraz maszyn.

Firma John Deere oferuje system prowadzenia równoległego AutoTrac z anteną (odbiornikiem GNSS) StarFire 7500, który umożliwia korzystanie z systemów: GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou [<https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500>] (tabela 2). Wbudowany firmowy system korekcji SF1 eliminuje konieczność zakupu osobnej stacji referencyjnej. SF1 działa w ramach technologii StarFire (globalna sieć stacji referencyjnych i satelitów INMARSAT oraz dostępnych GNSS) i gwarantuje globalną, dobrą dokładność pozycjonowania, porównywalną z SBAS (± 15 cm). System AutoTrac umożliwia integrację z rozwiązaniami firmy John Deere, takimi jak GreenStar 3 2630 i CommandCenter G5 oraz z systemem InCommand 1200 firmy Ag Leader [Ag Leader 2019]. Producent dostarcza również oprogramowanie JDLink wraz z modemem, które pozwala na darmowe, dwukierunkowe monitorowanie ciągników i maszyn w czasie rzeczywistym w celu optymalizacji pracy tych pojazdów. Możliwe jest również udostępnianie zebranych danych innym systemom zarządzania gospodarstwem [<https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/operations-center/connected-partners>]. Dodatkowo istnieje możliwość bezpłatnego korzystania z platformy John Deere Operations Center lub alternatywnie z aplikacji internetowej OneSoil [<https://onesoil.ai/pl>]. Tym, co wyróżnia ofertę marki John Deere spośród innych, jest model oparty na licencjach. Podstawowy zestaw sprzętowy składa się z anteny StarFire 7500, wyświetlacza G5Plus, okablowania i uchwytu [<https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500>]. W przypadku potrzeby rozszerzenia zestawu o system ISOBUS wraz z gniazdem InCab należy doliczyć dodatkowy koszt, który obejmuje zarówno sprzęt, jak i jego montaż. W cenie jest też zawarta roczna gwarancja. Aby korzystać z zamontowanego wyposażenia, konieczne jest wykupienie rocznych licencji. Podstawowa płatna licencja Guidance pozwala na wykorzystanie systemu AutoTrac. W przypadku potrzeby korzystania z funkcji ISOBUS do kontroli sekcji, np. opryskiwacza czy stosowania zmiennej dawki nawozów, wymagane jest wykupienie licencji Essential [<https://www.deere.pl/pl-pl/produkty-rozwiazania/rozwiazania-technologiczne/pakiet-essentials>]. Obejmuje ona wszystkie funkcje licencji podstawowej oraz dodatkowo funkcję AutoPath – rozwiązanie, które automatycznie tworzy zalecane ścieżki prowadzenia maszyn na podstawie wprowadzonych wcześniej granic pola i szerokości roboczej maszyny. Odbiornik StarFire 7500 współpracuje z darmowymi korektami RTK (ze stacji ASG-EUPOS) i nie wymaga ich dodatkowego odblokowywania. Istnieje także możliwość skorzystania z płatnego sygnału korekcyjnego SF-RTK, dostarczanego przez firmę John Deere, bez konieczności dokupowania dodatkowego sprzętu.

Dział Topcon Agriculture japońskiej firmy Topcon oferuje dwa systemy prowadzenia równoległego o nazwie Topcon VLS (ang. Value Line Steering) z anteną XR-1 oraz Topcon Premium wyposażony w antenę AGS-2 [<https://precyzyjnerolnictwo.pl/rozwiiazania/systemy-prowadzenia-rownoleglego>]. Oba systemy wykorzystują korekcję RTK. Antena AGS-2, oprócz łączności wi-fi, obsługuje transmisję danych za pośrednictwem protokołu internetowego NTRIP lub radia RTK przy użyciu modemu Topcon CL-55. Roczny abonament RTK jest wliczony w cenę zestawu. Po jego zakończeniu użytkownik ma możliwość: przedłużenia subskrypcji w firmie Topcon, wykupienia abonamentu u innego dostawcy lub skorzystania z bezpłatnych poprawek z ASG-EUPOS. System Topcon Premium w ramach dodatkowego abonamentu obsługuje również korekcję PPP. System Premium umożliwia także stosowanie zmiennej dawki nawozów, kontrolę sekcji, np. opryskiwacza, oraz synchronizację z usługami chmurowymi. W przypadku systemu Topcon VLS dostępny jest jedynie manualny ISOBUS, czyli bez możliwości automatycznej kontroli sekcji, stosowania zmiennej dawki środków produkcji i jego integracji z zewnętrznymi systemami wspierającymi pracę. W przypadku terminala (wyświetlacza) ISOBUS obsługiwanego ręcznie, operator np. wyłącza sekcje opryskiwacza czy zmienia dawkę oprysku, a precyzja tych działań jest zależna od operatora. Firma Topcon dla użytkowników jej systemów prowadzenia równoległego dostarcza odpłatnie dostęp do platformy TAP (ang. Topcon Agriculture Platform), która wspomaga zarządzanie gospodarstwem rolnym.

Polski system prowadzenia równoległego o nazwie AgroOSA oferuje precyzję pozycjonowania RTK, którą można uzyskać, wykorzystując stację referencyjną producenta, na obszarze do 30–40 km od ww. stacji [<https://www.agroosa.pl>] (tabela 3). Takie rozwiązanie może być ograniczeniem, jeśli gospodarstwo ma rozłóg wyspowy, czyli pola położone w dużych odległościach od stacji referencyjnej. System AgroOSA oferuje pełną integrację ze standardem ISOBUS, który umożliwia sterowanie wieloma sekcjami maszyn, a także stosowanie zmiennej dawki środków produkcji. Możliwa jest obsługa maszyn, które pozwalają na rozłączanie i załączanie do 16 sekcji analogowych lub do 128 sekcji cyfrowych. Dodatkowo system pozwala na wykonywanie automatycznego zawracania, co zwiększa wydajność pracy. Odbiornik GNSS montowany z systemem AgroOSA współpracuje tylko z konstelacjami satelitów GPS-NAVSTAR oraz GLONASS, ale jest możliwość integracji tego systemu z platformą FarmPortal, oprogramowaniem, które umożliwia kompleksowe zarządzanie gospodarstwem oraz monitorowanie upraw [<https://farmportal.eu/en/navigation-automatic-control>].

Amerykańska firma Raven Industries oferuje dwa systemy prowadzenia równoległego. System ten korzysta z sygnałów satelitarnych GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo oraz BeiDou. Pierwszy, bardziej zaawansowany, to Raven CR12 wyposażony w odbiornik RS1 i systemem DirecSteer, który umożliwia automatyczne sterowanie maszynami [<https://www.ravenind.com/products/displays/cr12-plus>]. Odbiornik RS1 współpracuje z systemem korekcji RTK przy użyciu modemu 4G Slingshot który łączy się ze stacją referencyjną za pomocą protokołu NTRIP przez sieć LTE. Dzięki temu kanałowi łączności możliwe jest przesyłanie poprawek różnicowych w czasie rzeczywistym. Dodatkowo modem umożliwia zapisywanie danych w chmurze, co ułatwia ich przechowywanie i dostęp z dowolnego miejsca. Producent oferuje własny płatny sygnał korekt PLM RTK, który zapewnia dużą dokładność prowadzenia pojazdów z wykorzystaniem metody RTK. System Raven CR12 jest kompatybilny także z innymi systemami korekcji, w tym z darmowym sygnałem ASG-EUPOS. Drugi, mniej zaawansowany system prowadzenia równoległego ww. firmy, to Raven CR7 z anteną 500S. System zamiast metody korekcji RTK wykorzystuje korekcję SBAS. Pakiet nie zawiera licencji, która pozwala na transfer danych z użyciem protokołu ISOBUS, przez co jego integracja z maszynami nie jest możliwa [<https://www.ravenind.com/products/displays/cr7-plus>]. Wówczas operator musi korzystać z oddzielnych paneli sterujących dla każdej maszyny, co utrudnia automatyzację pracy oraz uniemożliwia łatwe zbieranie danych.

Kolejnym systemem prowadzenia równoległego aktualnie dostępnym na rynku jest Farmnavigator G7 włoskiego producenta AVMAP [<https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture>]. Dystrybutorem tego systemu na terenie naszego kraju jest firma Globtrak [<http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne>]. Urządzenia z serii G7 są kompatybilne z każdym ciągnikiem, maszyną samobieżną oraz kombajnem. Pełny zestaw obejmuje wyświetlacz G7 z funkcją automatycznego sterowania AvMap Pilot, antenę GNSS o nazwie All In One RTK, a także opcję doposażenia (Retrofit ISOBUS) w gniazdo InCab montowane wewnątrz kabiny pojazdu, do którego podłączony jest joystick umożliwiający wygodne sterowanie ciągnikiem lub maszynami innych producentów przy użyciu protokołu ISOBUS. Antena All in One RTK obsługuje zarówno RTK, jak i standardowe korekty SBAS, zapewniając centymetrową precyzję. Firma Globtrak nie oferuje płatnych korekt RTK, jednak użytkownik może je kupić u zewnętrznych dostawców lub skorzystać z darmowych korekt systemu ASG-EUPOS. Istnieje możliwość zakupu własnej stacji referencyjnej RTK, której koszt zależy od mocy nadajnika. Na koszt systemu ma wpływ rodzaj zamontowanej anteny. W przypadku anteny All in One RTK opłata obejmuje aktywność wbudowanej karty SIM, czyli możliwość pobierania korekty RTK bez pośrednictwa zewnętrznego źródła wi-fi. Koszt pierwszego roku użytkowania tej anteny lub 1000 godzin pracy jest zawarty w cenie zakupu tej anteny. Alternatywnie użytkownik może zakupić tańszą antenę Turtle RTK, która nie posiada wbudowanej karty SIM, lecz umożliwia odbieranie korekcji RTK przez wi-fi, np. z telefonu komórkowego. Połączenie internetowe umożliwia synchronizację w czasie rzeczywistym danych pozyskiwanych z ciągników i maszyn. Do przetwarzania tych informacji oferowane są dwie platformy: MyFarmnavigator [<https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture/myfarmnavigator>] firmy AVMAP oraz Globtrak firmy o tej samej nazwie [<http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne>]. Bezterminowy dostęp do platformy MyFarmnavigator zawarty jest w cenie urządzenia z wyświetlaczami G7 lub G12. Koszt platformy Globtrak jest uzależniony od zamówienia. W przypadku gdy platforma nie jest częścią wcześniej zakupionego zestawu do prowadzenia równoległego, użytkownik ponosi dodatkowy koszt za montaż lokalizatora satelitarnego i zdalne połączenie z platformą Globtrak. Jeżeli system prowadzenia równoległego na maszynie został już zamontowany, to nie ma potrzeby

montażu urządzenia lokalizującego. Opłacamy tylko miesięczny dostęp do platformy. Użytkownik ponosi również koszt doposażenia systemu prowadzenia równoległego w interfejs ISOBUS, tzw. Retrofit ISOBUS. Płatne są także jednorazowe, wieczyste licencje na oprogramowanie ISOBUS WT (wirtualny terminal) i TC (kontroler zadań). Retrofit ISOBUS to fizyczne doposażenie maszyny w niezbędny sprzęt umożliwiający komunikację ISOBUS, natomiast licencje oprogramowania WT i TC pozwalają na obsługę i zarządzanie maszynami.

Perspektywa rozwoju systemów prowadzenia pojazdów w rolnictwie

Prognozy wykorzystania systemów prowadzenia równoległego w rolnictwie wskazują na ich dalszą dynamiczną ewolucję i upowszechnienie. Zastosowanie tych rozwiązań pozwala na zwiększenie efektywności wykorzystania środków produkcji, a tym samym lepsze dopasowanie ich dawek do zapotrzebowania roślin i zasobności gleby w składniki pokarmowe. Dzięki wykorzystaniu tej technologii rolnicy mogą precyzyjniej wykonywać zbiegi agrotechniczne, co pozwala na lepsze wykorzystanie zasobów, obniżenie kosztów, jak również usprawnienie zarządzania i poprawę warunków pracy w gospodarstwie. Dostępne systemy prowadzenia pojazdów będą dalej zwiększać swoją dokładność pozycjonowania przez integrację z różnymi technologiami korekcji sygnału. Rozbudowa konstelacji satelitów, w tym europejskiego systemu Galileo, zapewni lepszą dostępność i niezawodność sygnału, co pozwoli na bardziej efektywne pozycjonowanie ciągników i maszyn w trudnych warunkach terenowych czy pogodowych.

Dostępne na rynku systemy prowadzenia równoległego, niezależnie od producenta, oferują porównywalną dokładność. Tym, co odróżnia poszczególne systemy, są ich funkcjonalności (tabele 1–3), które decydują o dodatkowych możliwościach lub ograniczeniach danego rozwiązania. Obecnie nie ma dostępnych wyników badań, które porównywałyby faktyczne, a nie tylko deklarowane, możliwości systemów prowadzenia równoległego oferowanych przez poszczególnych producentów. Dotyczy to takich aspektów jak dokładność prowadzenia w różnych warunkach terenowych i pogodowych, niezawodność, intuicyjność obsługi, wszechstronność użytkowania oraz solidność wykonania, długość gwarancji i obsługa po sprzedażowa. W literaturze można znaleźć porównania różnych metod korekcji sygnału GNSS oraz wykorzystywanych kanałów transmisji sygnału przez poszczególne konstelacje satelitów, a także ich wpływ na dokładność pozycjonowania w określonych warunkach [Catania i in. 2020, Nijak i in. 2024, Kowalczyk i Hadas 2024]. Dostępne porównania zazwyczaj uwzględniają jedynie wybrane cechy, często skupiając się na drobnych różnicach w porównaniu z innymi systemami, co ma raczej skłonić potencjalnego użytkownika do wyboru oferowanego rozwiązania niż do jego obiektywnej oceny [https://odoo15-se-website.fjdac.com/de/blog/industry-insights-65/auto-steer-system-332, Farmonaut 2025, Karsten 2024].

W najbliższym czasie można spodziewać się dalszego ulepszania protokołów komunikacyjnych między ciągnikami a maszynami oraz oprogramowania sterującego pracą ww. pojazdów, co poprawia automatyzację ich obsługi. Natomiast większy udział w rynku systemów prowadzenia równoległego będą miały aplikacje mobilne wykorzystujące system Android oraz komunikację bezprzewodową. Może to prowadzić do stopniowej eliminacji protokołu ISOBUS na rzecz łączności radiowej, takiej jak WirelessHART, wi-fi, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee czy nawet OpenThread, między ciągnikiem a maszyną. Szybszy rozwój systemów prowadzenia równoległego spowalnia ograniczona moc obliczeniowa układów, zwłaszcza w maszynach autonomicznych. Postęp w rozwoju niskonapięciowych układów mikroprocesorowych przyspieszy rozwój GNSS, nowych metod korekcji pozycji i upowszechnianie metody korekcji – PPP.

W przyszłości można spodziewać się coraz większej oferty w pełni autonomicznych pojazdów. Prototyp polskiego autonomicznego robota polowego [Polski Przemysł 2025] został stworzony przez konsorcjum złożone z trzech instytucji Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznańskiego Instytutu Technologicznego i Instytutu Lotnictwa oraz polskiej firmy Unia. Pojazd składa się z trzech modułów roboczych: precyzyjnego siewnika punktowego, opryskiwacza oraz pielniaka mechanicznego połączonych z precyzyjnym dozownikiem nawozów i środków ochrony roślin. Zanim robot ten rozpocznie pracę, należy określić skrajny obszar roboczy i wgrać plan pracy. Wszystkie prace wykonuje automatycznie, ale jest również możliwość zdalnego sterowania przez operatora. Innym przykładem, dostępnym już w sprzedaży, jest autonomiczny ciągnik AgBot 5.115T2 holenderskiej firmy AgXeed [https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t2], który pracuje z dokładnością 2,5 cm. Jednak

bez zastosowania systemów prowadzenia równoległego, które wykorzystują GNSS, nie byłoby takiej możliwości.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu maszyn rolniczych znacząco poprawia efektywność i precyzję wykonywania zabiegów agrotechnicznych, co redukuje koszty jednostkowe ich wykonywania. Ponadto systemy te w sposób pośredni, przez bardziej efektywne wykorzystanie środków produkcji, przyczyniają się do zwiększenia plonów i minimalizacji negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Ponieważ systemy te ograniczają bądź zupełnie eliminują stosowanie podwójnych dawek środków produkcji, gdy mamy do czynienia z tzw. nakładkami. Eliminacja nakładek to także unikanie stosowania środków ochrony roślin w dawkach wyższych niż zalecane, co ma wpływ na ochronę owadów zapylających rośliny. Dzięki precyzyjnemu prowadzeniu ciągników, kombajnów i maszyn eliminowane są omijaki i nakładki, co przekłada się na lepsze wykorzystanie powierzchni pola. Ponadto takie prowadzenie pojazdów pozwala na zmniejszenie nakładów na paliwo, uprawę przedsięwną, materiał siewny, nawozy, pestycydy i siłę roboczą. Systemy prowadzenia równoległego pozwalają również na zoptymalizowanie tras przejazdu, co skraca czas pracy i zwiększa efektywność wykonywania zabiegów agrotechnicznych. System taki coraz częściej połączony jest z automatycznym wyłączaniem i włączaniem sekcji, czyli zmianą szerokości roboczej maszyny, która jest automatycznie dostosowywana do aktualnego kształtu obszaru pola, na którym wykonujemy zabieg co umożliwia bardziej precyzyjne siewy, jak również stosowanie nawozów i środków ochrony roślin. Systemy prowadzenia równoległego pozwalają także na automatyczne sterowanie pojazdami, co eliminuje błędy ludzkie i zwiększa wydajność pracy kombajnów, ciągników i maszyn [D'Antonio i in. 2023].

Chociaż zastosowanie systemów prowadzenia równoległego w rolnictwie przynosi wiele korzyści, wiąże się również z pewnymi trudnościami przy ich wdrażaniu. Jednym z głównych ograniczeń jest wysoki koszt zakupu i utrzymania tych systemów. Dlatego dla wielu małych i średnich gospodarstw rolnych inwestycja w takie nowoczesne technologie może być zbyt droga. Przy wyborze systemu prowadzenia równoległego warto zadbać o to, aby mógł on korzystać z jak największej liczby globalnych systemów pozycjonowania, w tym Galileo, który obecnie jest technicznie najlepszym i najdokładniejszym systemem nawigacji satelitarnej.

Współczesne rolnictwo to dynamicznie rozwijająca się dziedzina gospodarki, w której coraz powszechniej wykorzystuje się pojazdy wyposażone w systemy prowadzenia równoległego, aby sprostać wyzwaniom, takim jak zwiększanie plonów przy mniejszej powierzchni upraw, brak wykwalifikowanej siły roboczej oraz konieczność ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Dostępność takich technologii, w tym autonomicznych pojazdów, zwiększa efektywność prac w gospodarstwie, ale pozwala również na tworzenie nowych miejsc pracy w inżynierii czy przy analizie danych.

PIŚMIENNICTWO

- Ag Leader, 2019. ISOBUS from JD Display to an Ag Leader Display. <https://portal.agleader.com/community/s/article/1257> [dostęp: 2.03.2025].
- Baio, F.H.R.; Moratelli, R.F. Auto guidance accuracy evaluation and contrast of the operational field capacity on the mechanized plantation system of sugar cane. *Eng. Agrícola* 2011, 31, 367–375. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200017>
- Caro J., 2021. SBAS Systems. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_Systems [dostęp: 14.07.2025].
- Catania P., Comparetti A., Febo P. i in., 2020. Positioning accuracy comparison of GNSS receivers used for mapping and guidance of agricultural machines. *Agronomy* 10(7), 924. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070924>
- China Satellite Navigation Office, 2016. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document. China Satellite Navigation Office. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/201806/P020180608523308843290.pdf> [dostęp: 29.07.2025].
- Choy S., Harima K., Li Y. i in., 2013. Real-time precise point positioning utilising the Japanese Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) LEX corrections. International Global Navigation Satellite Systems Society, IGSS Symposium 2013. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=856db4d8226152cf80280d8acf9a7ef4183d0e4b> [dostęp: 29.07.2025].

- D'Antonio P., Mehmeti A., Toscano F. i in., 2023. Operating performance of manual, semi-automatic, and automatic tractor guidance systems for precision farming. *Res. Agric. Eng.* 69(4), 179–188. <https://doi.org/10.17221/5/2023-RAE>
- Farmonaut, 2025. Best GPS For Agriculture: 7 Ways GPS Transforms Farming. <https://farmonaut.com/precision-farming/best-gps-for-agriculture-7-ways-gps-transforms-farming> [dostęp: 28.07.2025].
- Flores A., 2020. NAVSTAR GPS Space Segment/ User Segment L1C Interfaces. GPS Enterprise Space & Missile Systems Center (SMC) – LAAFB, SAIC (GPS SE&I) 200 N. Pacific Coast Highway, Suite 1800 El Segundo, CA 90245. <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-800G.pdf> [dostęp: 17.03.2025].
- GeoPard Agriculture, 2025. Advantages and Role of Precision Agriculture Technology. 1. <https://geopard.tech/blog/what-is-precision-farming> [dostęp: 15.09.2025].
- Hollaway K., 2024. Sowing. W: A. Bryce, PA in Practice III. <https://grdc.com.au/resources-and-publications/all-publications/publications/2024/pa-in-practice-iii> [dostęp: 29.07.2025].
- Holmes S., 2016. Looking from space for nuclear detonations. <https://phys.org/news/2016-08-space-nuclear-detonations.html> [dostęp: 21.01.2025].
- <http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne> [dostęp: 13.04.2025].
- <https://agriculture.fjdynamics.com/pl/products/fjd-at2-auto-steer-system> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture> [dostęp: 18.03.2025].
- <https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture/myfarmnavigator> [dostęp: 29.07.2025].
- <https://farmportal.eu/en/navigation-automatic-control> [dostęp: 3.03.2025].
- https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html [dostęp: 3.03.2025].
- <https://odoo15-se-website.fjdac.com/de/blog/industry-insights-65/auto-steer-system-332> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://onesoil.ai/pl> [dostęp: 14.04.2025].
- <https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://portal.agleader.com/community/s/topic/0TOF400000099NWGAY/guidance-steering> [dostęp: 2.03.2025].
- <https://precyzyjnerolnictwo.pl/rozwiwania/systemy-prowadzenia-rownoleglego> [dostęp: 24.02.2026].
- <https://www.agroosa.pl> [dostęp: 3.03.2025].
- <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t2> [dostęp: 12.03.2025].
- <https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk> [dostęp: 3.02.2025].
- <https://www.chcpolska.pl/nx510se> [dostęp: 1.03.2025].
- <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/operations-center/connected-partners> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.deere.pl/pl/campaigns/precision-ag/pakiet-essentials> [dostęp: 14.04.2025].
- <https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500> [dostęp: 2.03.2025].
- <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services> [dostęp: 15.07.2025].
- <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962> [dostęp: 11.07.2025].
- <https://www.gps.gov/new-civil-signals> [dostęp: 24.02.2026].
- <https://www.ravenind.com/products/displays/cr7-plus> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.ravenind.com/products/displays/cr12-plus> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system> [dostęp: 23.02.2026].
- Hussain A., Ahmed A., Magsi H. i in., 2020. Adaptive GNSS receiver design for highly dynamic multipath environments. *IEEE Access* 8, 172481–172497. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024890>
- Januszczyński J., 2009. Charakterystyka sygnałów systemów satelitarnych i radionawigacyjnych dziś oraz w przyszłości. *Techn. Transportu Szynowego* 15(1–2), 66–69.
- Kaniewski P., 2006. System nawigacji satelitarnej GPS, część 3. *Elektr. Prakt.* 4, 96–100.
- Karsten B., 2024. Seven GPS steering systems tested, part 2. *Future Farming*. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/seven-gps-steering-systems-tested-valtra-leads-the-way-part-2> [dostęp: 28.07.2025].
- Kouwenhoven T., 2025b. Galileo High Accuracy Service (HAS). [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_\(HAS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_(HAS)) [dostęp: 27.01.2025].
- Kouwenhoven T., 2025a. Galileo Open Service (OS). [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Open_Service_\(OS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Open_Service_(OS)) [dostęp: 27.01.2025].
- Kowalczyk W., Hadas T., 2024. A comparative analysis of the performance of various GNSS positioning concepts dedicated to precision agriculture. *Rep. Geodesy Geoinform.* 117(1), 11–20. <https://doi.org/10.2478/rgg-2024-0002>
- Lamparski J., Świątek K., 1994. Wyznaczanie wysokości punktów z wykorzystaniem pomiarów GPS. *Zesz. Nauk. Akad. Rol. Wrocl., Geodezja Urz. Rol.* 12, 267–270.
- Laskowska P., 2017. Informatyka w rolnictwie, czyli rolnictwo precyzyjne. W: Materiały pokonferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Interdyscyplinarnej „Współczesne zastosowania informatyki”. Instytut Informatyki Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, Siedlce.
- Lea R., 2015. What is a geosynchronous orbit? *Space. Com.* <https://www.space.com/29222-geosynchronous-orbit.html> [dostęp: 31.01.2025].
- Lopez C., 2021a. GPS signal plan. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan [dostęp: 23.01.2025].
- Lopez C., 2021b. QZSS signal plan. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/QZSS_Signal_Plan [dostęp: 27.07.2025].
- Nijak M., Skrzypczyński P., Ćwian K. i in., 2024. On the importance of precise positioning in robotised agriculture. *Remote Sensing* 16(6), 985. <https://doi.org/10.3390/rs16060985>

- Oszczak S., Specht C., Koc W., 2009. Próba oceny dokładności pomiarów satelitarnych toru kolejowego. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne*, 149(91), 341–361.
- Pereira R., 2018. GNSS augmentation. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Augmentation [dostęp: 8.03.2025].
- Polski Przemysł, 2025. Automatyka w maszynach rolniczych na przykładzie autonomicznego robota polowego. <https://polskiprzemysl.com.pl/automatyzacja-i-robotyka/autonomiczny-robot-w-rolnictwie/> [dostęp: 12.03.2025].
- Russian Institute of Space Device Engineering, 2008. Global navigation satellite system GLONASS. Interface control document. Moscow, Russia. https://sentinels.pl/s/ICD_GLONASS_eng_v5.1.pdf [dostęp: 29.07.2025].
- Scarfone A., Picchio R., Del Giudice A. i in., 2021. Semi-automatic guidance vs. manual guidance in agriculture: a comparison of work performance in wheat sowing. *Electronics* 10(7), 825. <https://doi.org/10.3390/electronics10070825>
- Shinners, T.J.; Digman, M.F.; Panuska, J.C. Overlap Loss of Manually and Automatically Guided Mowers. *Appl. Eng. Agric.* 2012, 28, 5–8 doi:10.13031/2013.30085
- Sveaverken, 2022. Sveaverken F100 Auto Steer System. Software user manual. <https://agroassist.dk/wp-content/uploads/2023/04/SVEA-EN-3.1.5-Software-user-manual.pdf> [dostęp: 29.07.2025].
- Topçueri, M., Keskin, M., 2019. Effectiveness of GNSS-based tractor auto steering systems in crop spraying. *Tar. Bil. Derg.*, 24 (Özel Sayı), 78–90.
- United States Department of Transportation, 2008. Global positioning system Wide Area Augmentation System (WAAS) performance standard. <https://archive.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>. [dostęp: 24.02.2026].
- Vellidis G., Ortiz B., Beasley J. i in., 2014. Reducing digging losses by using automated steering to plant and invert peanuts. *Agronomy* 4(3), 337–348. <https://doi.org/10.3390/agronomy4030337>
- Wang S., You Z., Sun X., 2021. A partial carrier phase integer ambiguity fixing algorithm for combinatorial optimization between network rtk reference stations. *Sensors* 22(1), 165. <https://doi.org/10.3390/s22010165>
- Wei H., Xiao G., Zhou P. i in., 2024. Combining Galileo HAS and Beidou PPP-B2b with Helmert coordinate transformation method. *GPS Solutions* 29(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s10291-024-01789-2>
- Zimny L., 2003. *Encyklopedia ekologiczno-rolnicza*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław. <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/4536/edition/4353> [dostęp: 29.03.2025].

Źródło finansowania: Do przygotowania artykułu nie wykorzystano żadnego źródła finansowania.

Abstract. Currently, the agricultural system offering the most technologically advanced solutions is precision agriculture. One of the most commonly used solutions are positioning systems of tractors, combine harvesters, and other machinery known as guidance and steering systems, also called parallel tracking systems. They enable precise vehicle guidance, even in difficult conditions such as night-time, fog or dust, and also when tramlines were not established before. The use of the guidance and steering systems reduces overlaps, which decreases the usage of fuel and other agricultural inputs, thus greenhouse gas emissions are decreased. The aim of this study was to compare the agricultural vehicle positioning systems currently available on the Polish market, taking into account their applications, available features, accuracy, and ease of operation.

Keywords: precision agriculture, guidance and steering systems, GNSS, RTK, DGNS, SBAS, PPP

Otrzymano/Received: 8.10.2025
Zaakceptowano/Accepted: 7.01.2026
Opublikowano/Published: 27.03.2026



¹Katedra Ogrodnictwa, Wydział Biotechnologii i Ogrodnictwa, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. 29-listopada 54, 31-425 Kraków, Polska

²Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Polska

³Wydział Nauk Technicznych, Zakład Rolnictwa, Akademia Bialska im. Jana Pawła II, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Polska

* Corresponding author: elzbieta.jedrszczyk@urk.edu.pl

ELŻBIETA JĘDRSZCZYK^{1*}  <https://orcid.org/0000-0001-7387-3679>

BARBARA SKOWERA²  <https://orcid.org/0000-0003-3082-496X>

ALICJA BARANOWSKA³  <https://orcid.org/0000-0003-0998-1944>

Wpływ warunków uprawy na plonowanie i wartość odżywczą fasolnika chińskiego (*Vigna unguiculata* L. Walp.) – badania wstępne

The effect of cultivation conditions on the yield and nutritional value of chinese cowpea
(*Vigna unguiculata* L. Walp.) – preliminary studies

Abstrakt: W związku z postępującym ociepleniem klimatu oraz rozwojem prac hodowlanych fasolnik chiński (*Vigna unguiculata* L. Walp.) może stać się atrakcyjną rośliną do uprawy w Europie Środkowej. W Polsce uprawa tej rośliny jest możliwa zarówno pod osłonami, jak również w warunkach polowych, zwłaszcza w cieplejszych regionach południowej części kraju. Konieczne są dalsze badania naukowe mające na celu dostosowanie technik uprawy fasolnika do warunków glebowo-klimatycznych Polski oraz prace nad selekcją odpowiednich odmian, bardziej dostosowanych do lokalnych warunków środowiskowych.

Celem badań była ocena plonowania oraz wybranych cech morfologicznych, a także wartości odżywczej niedojrzałych strąków dwóch pnących odmian fasolnika chińskiego: Fakir i Metro Rouge, uprawianych w warunkach polowych południowej Polski oraz pod osłonami (w wysokim tunelu foliowym). Doświadczenie przeprowadzono w latach 2021–2022 w stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uprawa fasolnika w tunelu foliowym sprzyjała lepszemu rozwojowi roślin i stabilniejszym plonom w porównaniu z uprawą polową. Odmiana Fakir lepiej radziła sobie w chłodniejszych warunkach polowych, szybciej wchodząc w kolejne fazy rozwojowe niż odmiana Metro Rouge. Skład chemiczny strąków zależał od miejsca uprawy roślin i genotypu – strąki roślin z uprawy polowej charakteryzowały się wyższą zawartością suchej masy, tłuszczu, witaminy C, związków fenolowych oraz wyższą aktywnością antyoksydacyjną, natomiast strąki roślin uprawianych w tunelu foliowym zawierały więcej białka i barwników.

Odmiana Fakir miała wyższy poziom białka i barwników w porównaniu z odmianą Metro Rouge, a odmiana Metro Rouge – wyższą zawartość suchej masy, popiołu, witaminy C oraz wyższą aktywność antyoksydacyjną niż odmiana Fakir.

Słowa kluczowe: fasolnik, uprawa polowa, uprawa pod osłonami, wielkość i jakość plonu, temperatura, wilgotność

Cytowanie: Jedrszczyk E., Skowera B., Baranowska A., 2026. Wpływ warunków uprawy na plonowanie i wartość odżywczą fasolnika chińskiego (*Vigna unguiculata* L. Walp.) – badania wstępne. *Agron. Sci.* 81(1), 49–59. <https://doi.org/10.24326/as.2026.5605>

WSTĘP

Fasolnik chiński (*Vigna unguiculata* L. Walp.), zwany również wspięłą chińską lub fasolnikiem węzowym, należy do roślin z rodziny bobowatych (*Fabaceae*). Roślina ta pochodzi z Afryki Zachodniej. Jest pnączem jednorocznym, osiągającym długość do 4 m, odpornym na suszę i wysoką temperaturę powietrza (ma wyższe wymagania cieplne niż fasola zwykła). W uprawie dominują tyczne odmiany fasolnika chińskiego (wspierające się na podporach), ale uprawia się również odmiany karłowe o pokroju krzaczastym. Jadalne są zarówno młode/niedojrzałe strąki fasolnika, jak i nasiona [Durau 2013, Gunawan 2022].

Fasolnik chiński jest ważną rośliną strączkową, coraz bardziej popularną w wielu regionach świata [Osipitan i in. 2021]. Wysoki poziom produkcji i konsumpcji tego warzywa występuje w Afryce Subsaharyjskiej, szczególnie w Afryce Zachodniej i Środkowej. Roślina ta cieszy się także dużą popularnością w Azji, zwłaszcza w Chinach (stąd nazwa „fasolnik chiński”), a także w Stanach Zjednoczonych, głównie w Kalifornii [FAOStat 2017, Al-Furtuse i in. 2019]. W Afryce fasolnik jest uprawiany przeważnie ze względu na jadalne nasiona i jako pasza dla zwierząt. Natomiast w Azji wykorzystuje się przede wszystkim zielone, niedojrzałe strąki [Brulewski 2009, Durau 2013, Boukar i in. 2019]. W Europie uprawy *Vigna unguiculata* znajdują się między innymi w Hiszpanii, Grecji, Francji oraz we Włoszech [Durau 2013, Bejarano i in. 2014]. W Polsce uprawa fasolnika chińskiego prowadzona jest jedynie amatorsko oraz hobbystycznie, co wynika głównie z nieznamomości tego gatunku, jego wymagań, a także z wysokich potrzeb termicznych roślin.

W związku z postępującym ociepleniem klimatu i potrzebą dywersyfikacji upraw wzrasta zainteresowanie nowymi gatunkami roślin, w tym fasolnikiem chińskim, zwłaszcza że jest to roślina odporna na suszę i wysokie temperatury.

Nasiona fasolnika są cennym źródłem białka (22–33% s.m.), węglowodanów (56–57% s.m.), błonnika, witaminy C i A, kwasu foliowego oraz żelaza. W porównaniu z innymi roślinami strączkowymi charakteryzują się one niską zawartością związków antyodżywczych, takich jak inhibitory tripsyny, hemaglutyniny, fitiny [Lampart-Szczapa 1997].

Do spożycia nadają się również niedojrzałe/młode strąki fasolnika, które mogą być spożywane na surowo lub po obróbce termicznej. Niedojrzałe strąki zawierają między innymi ok. 8,75% suchej masy, 2,5% białka, 15 mg% witaminy C, 3,6 mg% karotenoidów, jak również sole mineralne magnezu i cynku [Nutritional value, Durau 2013]. Ponadto dojrzałe strąki tej rośliny zawierają wysoki poziom witaminy C (ok. 33 mg%) oraz witaminy A (68 µg%) [Nutritional value].

Należy podkreślić, że w ostatnich latach wzrosła popularność diet bezmięsnych (roślinnych), takich jak wegetarianizm i weganizm, a to zwiększa zapotrzebowanie na zamienniki białka pochodzenia zwierzęcego. Produktami najczęściej wykorzystywanymi w tym kontekście są warzywa strączkowe, np. soja, soczewica, bób, groch czy fasola. Dlatego w celu poszerzenia oferty i zwiększenia różnorodności asortymentu gospodarstw ogrodniczych warto zwrócić uwagę na mniej znane gatunki roślin – w tym właśnie fasolnik chiński – które mogą być atrakcyjne dla konsumentów.

Istotną informacją jest również to, że fasolnik chiński dzięki wysokiej zdolności wiązania azotu cząsteczkowego oraz mobilizacji nierozpuszczalnych składników odżywczych zgromadzonych w glebie może być wykorzystywany jako roślina poprawiająca żyzność gleby oraz jako nawóz zielony [Parthi i in. 2022]. Jest to szczególnie istotne na przeważających w Polsce glebach lekkich.

Pomimo dużego potencjału fasolnika chińskiego uprawa tej rośliny jest uzależniona głównie od warunków klimatyczno-glebowych, a także od zabiegów agrotechnicznych [Fajriani i in. 2025]. Nie wielki areal uprawy *Vigna unguiculata* w Europie jest prawdopodobnie wynikiem wysokich wymagań termicznych tej rośliny oraz trudności agrotechnicznych (m.in. konieczności stosowania wysokich podpór). Wprowadzenie fasolnika chińskiego do uprawy jest jednak szczególnie obiecujące w kontekście postępującego ocieplenia klimatu i rozwoju hodowli odmian odpornych na wyższe temperatury [Hall 2011]. W związku z tym badania naukowe prowadzone w celu określenia możliwości uprawy tej rośliny w klimacie Europy Środkowej na większą skalę mają duże znaczenie praktyczne.

Celem badań było porównanie dwóch odmian fasolnika chińskiego uprawianych w warunkach polowych oraz w wysokim tunelu foliowym. Analizowano wielkość plonu ogółem oraz wybrane cechy morfologiczne, a także wartość odżywczą niedojrzałych strąków fasolnika chińskiego.

MATERIAŁ I METODY

Badano dwie odmiany fasolnika chińskiego: Fakir i Metro Rouge, o pnących pędach, charakteryzujące się jasnozielonymi strąkami i nasionami w fazie dojrzałości fizjologicznej barwy brązowej u odmiany Metro Rouge i czarnej u odmiany Fakir (rycina 1).

Rycina 1. Nasiona fasolnika chińskiego w różnych stadiach dojrzałości: a) odmiana Metro Rouge, b) odmiana Fakir
Figure 1. Cowpea seeds at different stages of maturity: a) Metro Rouge cultivar, b) Fakir cultivar



Odmiany fasolnika chińskiego uprawiano z rozsady doniczkowej. Nasiona wysiewano w szklarni Wydziału Biotechnologii i Ogrodnictwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w dwóch terminach: 9 kwietnia 2021 roku oraz 12 kwietnia 2022 roku. W 2021 roku rośliny wykiełkowały po 4 dniach, a po 21 dniach od wysiewu pojawiły się pierwsze liście właściwe. W roku 2022 kiełkowanie roślin zaobserwowano po 7 dniach od wysiewu, a po 20 dniach pojawiły się liście właściwe. Doświadczenie prowadzono w Stacji Doświadczalnej w Mydlnikach, równolegle w uprawie polowej oraz w wysokim tunelu foliowym. Eksperyment prowadzono na glebie brunatnej właściwej o pH 7,5 i zawartości węgla organicznego 5,6%. W 2021 roku rozsadę wysadzono 12 maja zarówno w tunelu foliowym, jak również w gruncie. Niska temperatura powietrza spowodowała uszkodzenia roślin, dlatego 9 czerwca ponownie wysadzono rozsadę w gruncie. W 2022 roku w uprawie polowej fasolnik wysadzano 2 czerwca.

Na każdym obiekcie doświadczalnym (w uprawie polowej oraz w tunelu foliowym) w każdym roku badań wysadzano po osiem roślin każdej odmiany fasolnika (Fakir i Metro Rouge) w rozstawie 100×50 cm. Powierzchnia każdego poletka doświadczalnego wynosiła 11,5 m². Eksperyment prowadzono w trzech powtórzeniach.

W tunelu foliowym pędy fasolnika prowadzono na sznurkach mocowanych do konstrukcji tunelu, natomiast w uprawie polowej na specjalnie przygotowanych rusztowaniach. Podczas wegetacji na każdym obiekcie doświadczalnym prowadzono obserwację ważniejszych faz rozwojowych roślin, tj. początek i zakończenie kwitnienia oraz owocowania. Zabiegi pielęgnacyjne polegały na odchwaszczaniu, podlewaniu (tunel foliowy) i podpieraniu roślin (w miarę ich wzrostu i rozwoju). Z uwagi na możliwość uprawy fasolnika chińskiego w uprawie ekologicznej nie prowadzono ochrony chemicznej roślin.

Zbiór strąków fasolnika prowadzono systematycznie, w miarę osiągnięcia przez strąki dojrzałości zbiorczej. Prace wykonano w pięciu terminach – w 2021 roku: 21 VII, 28 VII, 13 VIII, 24 VIII oraz 13 IX, natomiast w 2022 roku: 15 VII, 22 VII, 20 VIII, 29 VIII oraz 9 IX. Określono wielkość plonu (w gramach z jednej rośliny) w poszczególnych terminach zbioru oraz sumaryczny plon z rośliny z całego okresu wegetacji.

W każdym roku badań po zbiorach wykonywano pomiary cech biometrycznych strąków fasolnika (pomiary wykonywano na 15 losowo wybranych strąkach z każdego poletka doświadczalnego), w trzech powtórzeniach dla każdej odmiany (w uprawie polowej oraz w tunelu foliowym). Zmierzono długość i szerokość strąków oraz oznaczono ich masę.

Przeprowadzono analizę składu chemicznego strąków fasolnika zebranych w 2021 roku. Określono suchą masę (metodą suszarkową wg Pijanowskiego) oraz wartość odżywczą: białko (metodą Kjeldahla), tłuszcz (metodą Soxhleta), popiół (metodą wyżarzania w piecu muflowym), witaminę C (metodą miareczkową Tillmansa z modyfikacjami). Oceniono również zawartość: barwników – chlorofilu, karotenoidy (metodą kolorymetryczną Lichtenthalera i Wellburna), związków fenolowych (metodą kolorymetryczną Folina–Ciocalteu) oraz aktywność antyoksydacyjną (metodą spektrofotometryczną z wykorzystaniem rodnika DPPH).

Wyniki poddano analizie statystycznej przy użyciu programu Statistica 12, a do ich interpretacji zastosowano test Tukeya. Istotność różnic zbadano za pomocą grup jednorodnych przy $\alpha = 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Charakterystyka meteorologiczna okresu badań

W latach badań przebieg temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie wegetacji był zróżnicowany. Rok 2021 charakteryzował się warunkami zbliżonymi do średnich wartości wieloletnich [Biuletyn IMGW – klimat.imgw.pl] pod względem zarówno temperatury, jak i sumy opadów. Z kolei rok 2022 był cieplejszy i bardziej wilgotny w porównaniu z wieloleciem (rycina 2, tabela 1).

Stwierdzono, że w latach badań (2021–2022), bezpośrednio po wysadzeniu rozsady fasolnika, minimalne temperatury powietrza były niższe od wartości optymalnych dla tego gatunku. Występowały spadki temperatury powietrza poniżej 12–14°C, podczas gdy fasolnik jest rośliną wrażliwą na niskie temperatury i do prawidłowego wzrostu oraz rozwoju wymaga temperatur powyżej 15°C, a optymalnie w granicach 25–35°C [Tropical Forages basa date, Craufurd i in. 1996].

Zaobserwowano zróżnicowaną wielkość i rozkład opadów atmosferycznych. W 2021 roku warunki były wyraźnie suchsze, natomiast w 2022 roku opady występowały częściej, ale nie przekraczały 10 mm na dobę, co sprzyjało przyjmowaniu się rozsady. W lipcu 2021 roku panowały wyższe temperatury, mieszczące się w zakresie optymalnym dla fasolnika, a opady były częste i intensywne (sięgające lokalnie powyżej 20 mm), co sprzyjało wzrostowi roślin (w sezonie wegetacyjnym potrzeby opadowe fasolnika wynoszą 400–650 mm) [Tropical Forages basa date]. W roku 2022 lipiec był chłodniejszy, temperatury częściej spadały poniżej dolnego optimum rozwoju roślin (25°C), a suma opadów była niewielka. Warunki te opóźniły fazy rozwojowe, w tym początek kwitnienia i owocowania, przeciętnie o około 10 dni (tabela 2), co skutkowało opóźnieniem zbiorów. Sierpień 2021 roku był stosunkowo chłodny (średnie dzienne temperatury powietrza wynosiły 13–24°C) oraz umiarkowanie wilgotny. Z kolei w 2022 roku sierpień był cieplejszy (15–25°C), a opady pojawiły się głównie pod koniec miesiąca.

W tunelu foliowym warunki termiczno-wilgotnościowe, które były wypadkową temperatury zewnętrznej i nawadniania roślin, bardziej sprzyjały uprawie fasolnika. W 2021 roku średnia temperatura powietrza podczas wegetacji fasolnika była o 3°C większa niż w polu, a wilgotność względna powietrza o 4,2% niższa, natomiast w 2022 roku temperatura była o 2,5°C wyższa niż w polu, a wilgotność była w tym roku wyższa w tunelu o 7,8%. Różnice poziomów wilgotności powietrza w tunelu w latach badań mogły wynikać z niższych minimalnych temperatur w 2022 roku (rycina 2, tabela 1), które sprzyjały kondensacji pary wodnej i w konsekwencji wyższej względnej wilgotności powietrza w tunelu w tym roku.

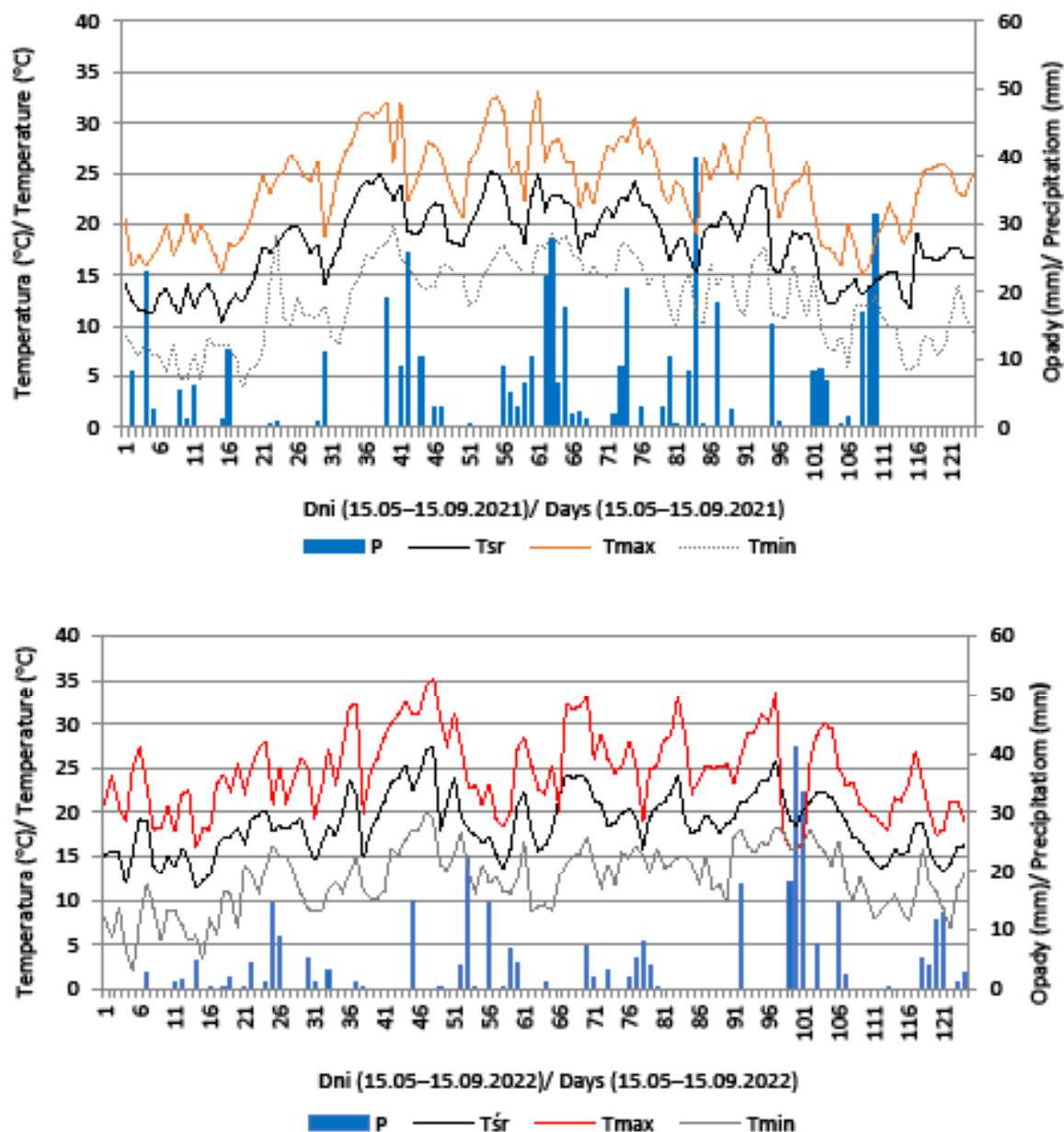
Tabela 1. Charakterystyka warunków termiczno-wilgotnościowych w uprawie polowej oraz w tunelu w latach badań
Table 1. Characteristics of thermal and humidity conditions in the field cultivation and tunnel during the study period

Rok Year	Parametr Parameter	Tunel Tunnel	Pole Field
2021	T max (°C)	31,8	23,7
	T śr/mean (°C)	21,6	18,6
	T min (°C)	15,1	14,1
	RH (%)	81,3	85,5
2022	T max (°C)	31,3	25,2
	T śr/mean (°C)	21,9	19,4
	T min (°C)	14,5	13,5
	RH (%)	76,7	68,9

T max – temperatura maksymalna, T śr/mean – temperatura średnia, T min – temperatura minimalna, RH – wilgotność względna powietrza
T max – maximum temperature, T śr/mean – mean temperature, T min – miniumum temperature, RH – real humidity of air

Rycina 2. Przebieg dobowej temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej oraz dobowych sum opadów atmosferycznych w latach badań 2021 i 2022 w Stacji Doświadczalnej w Mydlnikach

Figure 2. Daily average, maximum and minimum temperatures and daily precipitation totals in 2021 and 2022 at the Experimental Station in Mydlniki



Przebieg faz rozwojowych

Terminy występowania kolejnych faz rozwojowych były zróżnicowane i zależały od miejsca uprawy i genotypu fasolnika (tabela 2). Rośliny uprawiane w tunelu foliowym wcześniej wchodziły w fazę kwitnienia oraz wcześniej rozpoczynały owocowanie w porównaniu z fasolnikami uprawianymi w polu. Zbiór strąków *Vigna unguiculata* uprawianych w tunelu foliowym w 2021 roku był o 15 dni dłuższy niż roślin uprawianych w polu. W roku 2022 natomiast zaobserwowano sytuację odwrotną. Zbiór w tunelu foliowym przeprowadzono o 25 dni wcześniej niż w gruncie (z powodu pojawienia się mszyc i ryzyka zniszczenia plonów). Stwierdzono, że warunki termiczno-wilgotnościowe wysokiego tunelu foliowego były korzystniejsze dla wcześniejszego osiągnięcia faz rozwojowych niż warunki polowe. Dlatego też dalsze badania naukowe nad optymalizacją metod uprawy fasolnika chińskiego pod osłonami mogą przyczynić się do rozszerzenia uprawy tej rośliny na dużą skalę towarową [Fajriani i in. 2025].

Tabela 2. Terminy najważniejszych faz rozwojowych fasolnika chińskiego
Table 2. Dates of the most important developmental stages of cowpea

Faza Tage	Miejsce uprawy Cultivation place	Termin Date				Liczba dni od siewu Number of days from sowing			
		2021		2022		2021		2022	
		Metro Rouge	Fakir	Metro Rouge	Fakir	Metro Rouge	Fakir	Metro Rouge	Fakir
Początek kwitnienia/ Beginning of flowering	pole/field	6 VII	1 VII	18 VII	15 VII	88	83	96	93
	tunel/tunnel	23 VI	23 VI	30 VI	30 VI	75	75	79	79
Początek owocowania/ Beginning of fruting	pole/field	15 VII	6 VII	27 VII	21 VII	97	88	105	99
	tunel/tunnel	26 VI	26 VI	4 VII	4 VII	78	78	83	83
Koniec owocowania (ostatni zbiór)/ End of fruting (final harvest)	pole/field	15 IX	15 IX	15 IX	15 IX	159	159	155	155
	tunel/tunnel	30 IX	30 IX	20 VIII*	20 VIII*	174	174	130	130

Objaśnienia/Explanations:
* Z powodu wystąpienia mszyc na roślinach zbiory zakończono wcześniej niż planowano.
* Due to the occurrence of aphids on the plants, the harvest was completed earlier than planned.

Stwierdzono, że w warunkach polowych odmiana Fakir wcześniej osiągała fazę kwitnienia i początku owocowania niż odmiana Metro Rouge. W warunkach termiczno-wilgotnościowych występujących w tunelu foliowym nie zaobserwowano wpływu genotypu na termin osiągania kolejnych faz rozwojowych. Na tej podstawie można wnioskować, że odmiana Fakir jest lepiej przystosowana do zmiennych i chłodniejszych warunków meteorologicznych.

Cechy morfologiczne strąków fasolnika chińskiego

Analiza cech morfologicznych strąków fasolnika chińskiego wykazała wpływ miejsca uprawy i niewielki wpływ genotypu na masę, długość i szerokość strąków (tabela 3). W 2021 roku rośliny uprawiane w tunelu foliowym tworzyły strąki dłuższe, szersze i o większej masie w porównaniu ze strąkami roślin z uprawy polowej. W 2022 roku natomiast strąki roślin rosnących w tunelu były dłuższe i węższe niż roślin uprawianych w gruncie, ale nie różniły masą. Warto zaznaczyć, że w 2022 roku w fazie owocowania fasolnika opady były częste, co zwiększyło wilgotność powietrza zarówno w polu, jak i w tunelu. Może to wyjaśniać brak różnic w masie strąków roślin uprawianych w warunkach polowych i tunelu foliowym.

Porównując parametry strąków zebranych w naszym doświadczeniu z danymi literaturowymi, można stwierdzić, że w warunkach klimatu południowej Polski fasolnik nie osiągał maksymalnych parametrów wzrostu. Badania Faizah i in. [2025] wykazały, że w uprawie w Indonezji, w tropikach, strąki fasolnika były dłuższe (56,1–58,7 cm) oraz osiągały większą masę (16,7–17,6 g).

Tabela. 3. Cechy morfologiczne strąków fasolnika chińskiego
Table 3. The morphological characteristics of the cowpea pod

Badana cecha Feature	Miejsce uprawy Cultivation place	2021		Średnio Mean	2022		Średnio Mean
		Metro Rouge	Fakir		Metro Rouge	Fakir	
Masa strąka/ Pod weight (g)	pole/field	3,7 ^{a*}	3,9 ^a	3,8 ^A	8,2 ^a	8,3 ^a	8,2 ^A
	tunel/tunnel	8,9 ^b	14,7 ^c	11,8 ^B	7,9 ^a	8,5 ^a	8,2 ^A
Długość strąka/ Pod lenght (cm)	pole/field	25,5 ^a	27,9 ^a	26,7 ^A	35,2 ^a	36,2 ^{ab}	35,7 ^A
	tunel/tunnel	38,1 ^b	54,6 ^c	46,8 ^B	39,8 ^{ab}	41,6 ^b	40,7 ^B
Szerokość strąka/ Pod wide (cm)	pole/field	0,4 ^{ab}	0,3 ^a	0,3 ^A	0,9 ^b	0,9 ^b	0,9 ^B
	tunel/tunnel	0,5 ^{bc}	0,6 ^c	0,6 ^B	0,6 ^a	0,6 ^a	0,6 ^A

Objaśnienia/Explanations:
* Obliczenia statystyczne wykonano oddzielnie dla każdego roku. Wartości oznaczone tymi samymi literami dla poszczególnych cech morfologicznych nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.
* Statistical calculations were performed separately for each year. Values marked with the same letters for individual morphological characteristics do not differ significantly at $\alpha = 0.05$.

Analiza plonu fasolnika chińskiego

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wpływ miejsca uprawy na wielkość plonu fasolnika chińskiego w poszczególnych terminach zbioru. Rośliny uprawiane w gruncie osiągały dojrzałość zbiorczą później niż w tunelu foliowym. W 2021 roku opóźnienie wynosiło 1 tydzień, a w 2022 aż 3 tygodnie (tabele 4 i 5). W roku 2021, w okresie od wysadzenia do pierwszego zbioru (9 VI–28 VII), średnia temperatura wynosiła 21°C, minimalna 15°C, a suma opadów 194 mm (rycina 2, tabela 1). W roku tym opady przed pierwszym zbiorem były częste i nie przekraczały 25 mm. Taki układ warunków termiczno-opadowych wpłynął na wcześniejsze zbiory i wyższe plony w gruncie w porównaniu z rokiem 2022. W roku 2022, w okresie od wysadzenia do pierwszego zbioru (2 VI–20 VIII), średnia temperatura była niższa i wynosiła 20°C, a minimalna 13,5°C, suma opadów natomiast 159 mm. Opady te były niższe, a w czasie formowania i dorastania strąków wystąpił dwutygodniowy okres bezopadowy (z jednym opadem burzowym). W 2021 roku największy zbiór strąków w gruncie odnotowano 13 VIII (trzeci zbiór), a kolejne zbiory były 9–17-krotnie niższe (tabela 4), co mogło być związane z brakiem opadów w terminie czwartego i piątego zbioru (rycina 2). W 2022 roku najwyższy zbiór strąków w gruncie odnotowano 29 VIII (czwarty zbiór), a ostatni zbiór (z 9 IX) był na zbliżonym poziomie, ale różnił się w przypadku odmian (tabele 4 i 5). W warunkach kontrolowanych w tunelu foliowym w dwóch latach badań uprawy najwyższy plon uzyskano w pierwszym terminie zbioru, a plonowanie w kolejnych terminach było zbliżone.

Tabela 4. Wielkość plonu fasolnika chińskiego (w gramach z jednej rośliny) w poszczególnych terminach zbioru w 2021 r.
Table 4. Yield of the cowpea (in grams per plant) at subsequent harvest dates in 2021

Miejsce uprawy Cultivation place	Odmiana Cultivar	Zbiór 1 Harvest 1 (21.07.2021)	Zbiór 2 Harvest 2 (28.07.2021)	Zbiór 3 Harvest 3 (13.08.2021)	Zbiór 4 Harvest 4 (24.08.2021)	Zbiór 5 Harvest 5 (13.09.2021)
Pole/Field	Metro Rouge	0	36,7	589,8	57,5	64,0
	Fakir	0	54,8	413,3	24,7	23,7
Tunel/Tunnel	Metro Rouge	747,6	142,8	108,5	248,5	223,3
	Fakir	353,9	44,7	41,0	162,5	54,5

Tabela 5. Wielkość plonu fasolnika chińskiego (w gramach z jednej rośliny) w poszczególnych terminach zbioru w 2022 r.

Table 5. Yield of the cowpea (in grams per plant) at subsequent harvest dates in 2022

Miejsce uprawy Cultivation place	Odmiana Cultivar	Zbiór 1 Harvest 1 (15.07.2022)	Zbiór 2 Harvest 2 (22.07.2022)	Zbiór 3 Harvest 3 (20.08.2022)	Zbiór 4 Harvest 4 (29.08.2022)	Zbiór 5 Harvest 5 (9.09.2022)
Pole/Field	Metro Rouge	0	0	102	274,6	169,4
	Fakir	0	0	45,8	72	85,2
Tunel/Tunnel	Metro Rouge	220	81	118,6	0*	0
	Fakir	113,8	115,4	67,4	0*	0

*W 2022 roku w tunelu foliowym przeprowadzono tylko trzy zbiory ze względu na pojawienie się mszyc zniszczenie plonów.
*In 2022, only three crops were harvested in the plastic tunnel, as the plants were destroyed by the aphid.

Stwierdzono istotne różnice wielkości plonu ogółem pomiędzy odmianami fasolnika chińskiego. Plony odmiany Fakir były prawie dwukrotnie niższe niż odmiany Metro Rouge (tabela 6), co może wskazywać na mniejsze zdolności adaptacyjne tej odmiany lub różnice w potencjale plonotwórczym odmian. Również badania innych autorów [Babaji 2011, Wilson 2019] podkreślają znaczenie wyboru odpowiednich genotypów w optymalizacji plonów fasolnika chińskiego.

Udowodniono także istotny wpływ miejsca uprawy fasolnika (warunki polowe, tunel foliowy) na wielkość plonu ogółem (tabela 6). Rośliny fasolnika uprawiane w warunkach kontrolowanych tunelu foliowego plonowały lepiej niż rosnące w gruncie (tabele 4–6). Wyniki te potwierdzają wcześniejsze badania sugerujące, że tunel foliowy zapewnia korzystniejsze warunki mikroklimatyczne, takie jak wyższa temperatura, większa ochrona przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi oraz lepsza kontrola wilgotności [Abd El-Rahman 2018], co jest szczególnie istotne w kontekście produkcji warzyw w niekorzystnych warunkach klimatycznych.

Warto zauważyć, że wybór odmiany oraz optymalne warunki uprawy są kluczowymi czynnikami determinującymi wielkość plonów fasolnika chińskiego. Integracja tych elementów w praktyce rolniczej może przyczynić się do zwiększenia efektywności produkcji tej rośliny.

Tabela 6. Plon ogółem z jednej rośliny fasolnika chińskiego (w gramach z jednej rośliny)
Table 6. Total yield per plant of the cowpea (in grams per plant)

Miejsce uprawy Cultivation place	2021			2022		
	Metro Rouge	Fakir	Średnio Mean	Metro Rouge	Fakir	Średnio Mean
Pole/Field	748 ^a	516 ^a	632 ^A	546 ^c	203 ^a	374 ^A
Tunel/Tunnel	1471 ^b	656 ^a	1064 ^B	420 ^{bc}	297 ^{ab}	358 ^A
Średnio/Mean	1109 ^B	586 ^A	—	483 ^B	250 ^A	—

Objaśnienia/Explanations:
Obliczenia statystyczne wykonano oddzielnie dla każdego roku. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.
Statistical calculations were performed separately for each year. Values marked with the same letters do not differ significantly at $\alpha = 0.05$.

Analiza składu chemicznego strąków fasolnika chińskiego

Stwierdzono istotny wpływ miejsca uprawy na wybrane parametry składu chemicznego strąków fasolnika. Rośliny uprawiane w polu odznaczały się wyższą zawartością suchej masy, tłuszczu, popiołu oraz miały wyższą zawartość witaminy C i związków fenolowych, a także wykazywały wyższą aktywność antyoksydacyjną (tabela 7). Strąki fasolnika uprawianego w tunelu foliowym odznaczały się natomiast wyższą zawartością białka oraz barwników w porównaniu ze strąkami uprawianymi w warunkach polowych.

Stwierdzono różnice w składzie chemicznym pomiędzy badanymi odmianami. Strąki odmiany Fakir charakteryzowały się wyższą zawartością białka oraz barwników fotosyntetycznie czynnych (chlorofili i karotenoidów) w porównaniu ze strąkami odmiany Metro Rouge. Odmiana Metro Rouge natomiast cechowała się wyższą zawartością suchej masy, popiołu, witaminy C oraz wyższą aktywnością antyoksydacyjną. Nie stwierdzono wpływu genotypu na zawartość tłuszczu oraz związków fenolowych.

Porównując parametry składu chemicznego strąków fasolnika z wynikami badań naukowych innych autorów, które były prowadzone w cieplejszych strefach klimatycznych, można zauważyć, że w klimacie południowej Polski strąki odznaczały się niższą wartością odżywczą. Sombié i in. [2021] wykazali, że różne linie fasolnika uprawiane w Burkina Faso odznaczały się zawartością białka na poziomie 20,28–27,32%, a polifenoli na poziomie 585,37–992,11 mg/100 g. Sindhuja i in. [2021], uprawiając fasolnik w Indiach, wykazali, że zawartość białka wynosiła 28,62–29,76%, a witaminy C 18,87–19,44 mg%. Badania Carvalho i in. [2022], przeprowadzone w Portugalii, wykazały, że w strąkach różnych odmian fasolnika znajdowało się 23,3–27,2% białka.

Uprawa fasolnika w naszej strefie klimatycznej może być jednak interesującą alternatywą dla innych powszechnie znanych gatunków warzyw, przyczyniając się do zwiększenia bioróżnorodności roślin uprawnych. Zwłaszcza w dobie rosnącego popytu na zdrową żywność roślina ta może stać się cennym uzupełnieniem naszej diety, wzbogacając ją o wartościowe białko, witaminy i minerały [Dureau 2013].

Tabela 7. Skład chemiczny strąka fasolnika chińskiego
Table 7. Chemical composition of cowpea pods

Skład chemiczny Chemical composition	Pole/Field			Tunel/Tunnel		
	Metro Rouge	Fakir	Średnio/ Mean	Metro Rouge	Fakir	Średnio/ Mean
Sucha masa/ Dry mass %	10,89 ^c	10,90 ^c	10,89 ^B	10,32 ^b	9,66 ^a	9,99 ^A
Białko/Protein g/100 g s.m.	13,36 ^a	16,11 ^b	14,74 ^A	20,85 ^c	23,20 ^d	22,03 ^B
Tłuszcz/Fat g/100 g s.m.	2,48 ^b	2,71 ^b	2,59 ^B	1,06 ^a	1,19 ^a	1,12 ^A
Popiół/Ash g/100 g s.m.	5,25 ^a	5,97 ^b	5,61 ^B	4,98 ^a	5,17 ^a	5,07 ^A
Witamina C/ Vitamine C mg/100 g s.m.	40,60 ^b	39,00 ^b	39,80 ^B	36,09 ^{ab}	31,58 ^a	33,83 ^A
Fenole/Poliphenols mg/100 g s.m.	164,99 ^b	166,60 ^b	165,79 ^B	126,84 ^a	122,49 ^a	124,67 ^A
Aktywność antyoksydacyjna/ AA % DPPH	63,42 ^c	62,69 ^c	63,06 ^B	49,42 ^b	38,65 ^a	44,04 ^A
Chlorofile/Chlorophil mg/100g s.m.	0,41 ^a	0,86 ^c	0,64 ^A	0,57 ^b	0,91 ^c	0,74 ^B
Karotenoidy/Carotenoids mg/100g s.m.	0,10 ^a	0,18 ^b	0,14 ^A	0,12 ^a	0,19 ^b	0,15 ^B

Objaśnienia/Explanations:
s.m. – sucha masa/ dry mass
ś.m. – świeża masa/ fresh mass
AA – aktywność antyoksydacyjna/ antioxidant activity
Obliczenia statystyczne wykonano oddzielnie dla każdej cechy. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.
Statistical calculations were performed separately for each feature. Values marked with the same letters do not differ significantly at $\alpha = 0.05$.

Wyniki naszych badań jednoznacznie potwierdzają, że fasolnik chiński jest rośliną, która w warunkach klimatyczno-glebowych Polski powinna być uprawiana pod osłonami, np. w tunelach foliowych (ze względu na duże wymagania cieplne). Różnice pomiędzy genotypami oraz wpływ środowiska uprawy na plon i skład chemiczny strąków wskazują na potrzebę opracowania optymalnych strategii

agrotechnicznych, które będą uwzględniały lokalne warunki klimatyczno-glebowe, a także potrzeby rynku i konsumentów. Dlatego konieczne jest prowadzenie dalszych badań naukowych w zakresie doboru genetycznego, technologii uprawy oraz metod ochrony roślin, aby zwiększyć efektywność uprawy fasolnika chińskiego w Polsce i poprawić jakość plonów.

WNIOSKI

1. Stwierdzono, że w warunkach polowych południowej Polski rozsadę fasolnika chińskiego należy wysadzać na początku czerwca. Natomiast w uprawie pod osłonami rozsadę można wysadzić już w połowie maja.
2. Odmiana Fakir w warunkach polowych południowej Polski wcześniej wchodziła w fazę kwitnienia i owocowania w porównaniu z odmianą Metro Rouge, natomiast w tunelu foliowym różnice między genotypami nie występowały. Wskazuje to na lepsze przystosowanie odmiany Fakir do zmiennych warunków atmosferycznych.
3. Miejsce uprawy (tunel foliowy/pole uprawne) istotnie determinowało masę, długość i szerokość strąków fasolnika, natomiast wpływ genotypu na te cechy był nieistotny.
4. Rośliny uprawiane w tunelu foliowym osiągały dojrzałość zbiorczą wcześniej niż rośliny uprawiane w gruncie, a ich plony były wyższe i bardziej stabilne.
5. Skład chemiczny strąków fasolnika chińskiego zależał od odmiany oraz miejsca uprawy roślin (warunki polowe/tunel foliowy).

PIŚMIENNICTWO

- Abd El-Rahman N., 2018. Effect of different mulching colors and tunnel coverings on plant growth, yield and post-harvest quality of green bean. Egypt. J. Hort. 45(1), 145–167. <https://doi.org/10.21608/ejoh.2018.3137.1052>
- Al-Furtuse A.K., Aldoghachi K.A., Jabail W.A., 2019. Response of three varieties of cowpea (*Vigna sinensis* L.) to different levels of potassium fertilizer under southern region conditions of Iraq. Basrah J. Agric. Sci. 32(S2), 25–34. <https://doi.org/10.37077/25200860.2019.254>
- Babaji B.A., Yahaya R.A., Mahadi M.A. i in. (2011). Growth attributes and pod yield of four cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) varieties as influenced by residual effect of different application rates of farmyard manure. J. Agric. Sci. 3(2), 165–171. <https://doi.org/10.5539/JAS.V3N2P165>
- Bejarano A., Ramírez-Bahena M.H., Velázquez E. i in., 2014. *Vigna unguiculata* is nodulated in Spain by endosymbionts of Genisteae legumes and by a new symbiovar (vignae) of the genus Bradyrhizobium. Syst. Appl. Microbiol. 37(7), 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2014.04.003>
- Biuletyn IMGW. <https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring/> [dostęp: 17.11.2025].
- Boukar O., Belko N., Chamarthi S. i in., 2019. Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. Plant Breed. 138, 415–424.
- Bralewski T.W., 2009. Fasolnik chiński – ciekawa propozycja. Hasło Ogród. 10, 122–123.
- Carvalho M., Carnide V., Sobreira C. i in., 2022. Cowpea immature pods and grains evaluation: An opportunity for different food sources. Plants 11(16), 2079. <https://doi.org/10.3390/plants11162079>
- Craufurd P.Q., Ellis R.H., Summerfield R.J. i in., 1996. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. Exp. Agric. 32(1), 1–12. <https://doi.org/10.1017/S0014479700025801>
- Durau B., 2013. Uprawa mało znanych roślin warzywnych. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz.
- Faizah A.F., Santoso J., Suryandika F., 2025. Increasing the growth and yield of long bean plants (*Vigna sinensis* L.) against POC and NPK fertilizers. J. Agron. Tanam. Trop. 7(1), 294–300. <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.4153>
- Fajriani S., Rahmawan D.S., Ariffin A., 2025. Effectiveness of trellis model and propagation direction in optimizing growth and yield of long bean plants (*Vigna sinensis* L.). J. Agriprec. Soc. Impact 2(1), 41. <https://doi.org/10.62793/japsi.v2i1.50>
- FAOStat (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2017. Statistical data base. <https://www.fao.org/faostat/en/> [dostęp: 17.11.2025].
- Gunawan B., Nisak F., Purwanto S. i in., 2022. Increasing productivity long bean plant (*Vigna sinensis* L.) with organic vermicompost fertilizer. Agric. Sci. 6(1), 21–29. <https://doi.org/10.55173/AGRISCIENCE.V6I1.78>
- Hall A.E., 2011. Breeding cowpea for future climates. W: Yadav S.S., Redden R.J., Hatfield J.L. i in. (red.), Crop adaptation to climate change. Wiley-Blackwell, 340–355. <https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch24>
- Lampart-Szczapa E., 1997. Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 446, 61–81.

- Osipitan O.A., Fields J.S., Lo S. i in., 2021. Production systems and prospects of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the United States. *Agronomy* 11(11), 2312. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112312>
- Pardhi S., Sharma R.K., Kushwah S.S. i in., 2022. Influence of varieties and integrated nutrient management practices on growth and yield of seed in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Legume Res.* 45(2), 227–231. <https://doi.org/10.18805/LR-4475>
- Sindhujha G., Kiran Patro T.S.K.K., Suneetha S. i in., 2021. Effect of integrated nutrient management on growth and yield of Yardlong bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. Ssp. *Sesquipedalis* Verdc.). *Int. J. Chem. Stud.*, 9(2), 798–801. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i2l.11916>
- Sombié P.A.E.D., Sama H., Barro A. i in., 2021. The effect of seed size on phytochemical composition in cowpea lines (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) from Burkina Faso. *Agric. Sci.* 12, 1462–1472. <https://doi.org/10.4236/as.2021.1212093>
- Tropical Forages. *Vigna unguilata*. https://tropicalforages.info/text/entities_app/vigna_unguiculata.htm [dostęp: 17.11.2025].
- Nutritional value. Cowpeas, raw, young pods with seeds. https://www.nutritionvalue.org/Cowpeas%2C_raw%2C_young_pods_with_seeds_nutritional_value.html?utm_source=share-by-url [dostęp: 10.06.2025].
- Wilson G., 2019. Effect of cowpea (*Vigna unguiculata*) variety and plant spacing on grain and fodder yield. *Asian J. Adv. Agric. Res.* 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2019/V10I130019>

Źródło finansowania: Praca została sfinansowana z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Rzeczypospolitej Polskiej.

Abstract: Due to the ongoing global warming and the development of breeding work, Chinese cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) may become an attractive crop for cultivation in Central Europe. In Poland, the cultivation of this plant is possible both under cover and in field conditions, especially in the warmer regions of the southern part of the country. However, further scientific research is necessary to adapt cultivation techniques to Poland's soil and climate conditions and to work on selecting suitable cultivars better adapted to local environmental conditions. The aim of the research was to evaluate yield and selected morphological traits, as well as the nutritional value of immature pods of two climbing Chinese cowpea cultivars: Fakir and Metro Rouge, grown under field conditions in southern Poland and under cover (high tunnel). The experiment was conducted in 2021–2022 at the experimental station of the University of Agriculture in Kraków.

The results showed that cultivation of cowpeas in a plastic tunnel promoted better plant development and more stable yields compared to field cultivation. The Fakir cultivar performed better in cooler field conditions, entering successive developmental stages more quickly than the Metro Rouge cultivar.

The chemical composition of the pods depended on the cultivation site and genotype – pods from field-grown plants had higher contents of dry matter, fat, vitamin C, phenolic compounds, and higher antioxidant activity, while pods from plants grown under the plastic tunnel contained more protein and pigments. The Fakir cultivar exhibited higher levels of protein and pigments compared to Metro Rouge, whereas Metro Rouge had higher contents of dry matter, ash, vitamin C, and antioxidant activity than Fakir.

Keywords: cowpea, field cultivation, cultivation under cover, yield quantity and quality, temperature, humidity

Otrzymano/Received: 25.09.2025
Zaakceptowano/Accepted: 12.01.2026
Opublikowano/Published: 27.03.2026



¹ Weed Science Laboratory, The National Institute of Horticultural Research,
Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice, Poland

² Professor emeritus, The National Institute of Horticultural Research,
Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice, Poland

*Corresponding author: joanna.golian@inhort.pl

ZBIGNIEW ANYSZKA¹  <https://orcid.org/0000-0002-5315-7496>

JOANNA GOLIAN¹  <https://orcid.org/0000-0003-0797-5495>

JAN BORKOWSKI²

The studies on the parasitism of branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L.) on some root vegetables from the *Apiaceae* family

Abstract. The studies were conducted in 2020–2022 in Skierniewice, in the greenhouse and in the open. The observations were carried out on carrot (*Daucus carota* L.), parsley (*Petroselinum sativum* (Mill) Fuss.), and celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum* (Mill)). The seeds of tested vegetable crops were sown in a greenhouse, and before sowing, *Phelipanche ramosa* seeds were mixed with the top layer of the substrate for half of the pots. The number and height of *P. ramosa* inflorescence shoots, the number of capsules with seeds in one pot, and the height of vegetable plant's inflorescence shoots were determined in experiments. It was found that tested vegetable crops from *Apiaceae* family can be the host plants for *P. ramosa*. Celeriac appeared to be a better host than carrot and parsley. Inflorescence shoots of carrot and celeriac parasitised with *P. ramosa* were lower than shoots growing without the parasite, but shoots of parsley were higher. The study aimed to determine the possibility of *P. ramosa* parasitizing vegetable crops from *Apiaceae* family, under Polish conditions, and its influence on the plant's morphological features.

Keywords: parasitism, *Phelipanche ramosa*, carrot, parsley, celeriac

INTRODUCTION

Branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L. Pomel) is a root-parasitic plant species belonging to the *Orobanchaceae* family [Parker and Riches 1993, Parker 2009]. This plant is known all over the world, especially in countries with a warm or temperate climate. It causes great damage in tomato cultivation in the Mediterranean basin [Qasem and Kasrawi 1995, Qasem 1998, Avdeyev et al. 2003, Haidar and Sidahmed 2006, Joel et al. 2007, Kostoy et al. 2007, Hershenhorn et al. 2009, Disciglio et al. 2016, Gebreegziher et al. 2023], in Chile and other countries of South America [Diaz et al. 2006]. *Phelipanche ramosa* adapts to parasitism on new plants, as exemplified by the large losses in rapeseed yields in France [Zehhar et al. 2003, Gibot-Leclerc et al. 2012, Moreau et al. 2016]. It can also parasitise other plant species, including potatoes, hemp, tobacco [Piwowarczyk 2012], cabbage and celery plants [Zehhar et al. 2003, Qasem and Foy 2007, Gibot-Leclerc et al. 2014, Anyszka et al. 2025]. According to some authors, this parasite can cause from 5% to 100% losses in crop yields [Joel et al. 2007, Schnee-weiss 2007], and once it appears, it is very difficult to control. It produces a very large number of small

Cytowanie: Anyszka Z., Golian J., Borkowski J., 2026. The studies on the parasitism of branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L.) on some root vegetables from the *Apiaceae* family. *Agron. Sci.* 81(1), 61–68. <https://doi.org/10.24326/as/2026.5600>

seeds, even up to 200,000 per gram [Qasem and Kasrawi 1995, Qasem 1998], which contributes to the increase in the soil seed bank of this species [Moreau et al. 2016]. At the same time, its invasive potential is significant, as all tropical and subtropical countries as well as most countries with a temperate climate are susceptible to its invasion [Mohamed et al. 2006]. The number of seeds depends on the host. Lolas [1994] and Wegmann [2004] report that in tobacco, *P. ramosa* can produce approximately 100 000 seeds per plant, while Zimdahl and Basinger [2024] state that *P. ramosa* can produce even 500 000 seeds. The changes that have been taking place for years due to climate warming may lead in the future to an increased risk of *P. ramosa* infecting other areas and crops. Climate change may affect obligate parasites directly by affecting their physiology, but also indirectly, as a consequence of the impact on host plants and habitats [Piwowarczyk and Kolanowska 2023].

In Poland, *P. ramosa* is observed mainly on tobacco and tomato roots [Borkowski and Dyki 2008, Borkowski et al. 2018], and is most common in the south of the country [Piwowarczyk 2012]. Buschmann [2004] and Piwowarczyk [2012] report that *P. ramosa* can also parasitize on hemp (*Cannabis sativa* L.). The area of hemp cultivation in Poland exceeds 1,500 hectares, which may be important for the spread of *P. ramosa*. Zehhar et al. [2003] found the *P. ramosa* parasitising carrot roots in Morocco, and Qasem and Foy [2007] showed that celeriac is also a good host for this parasite. Except for cultivation crops, *P. ramosa* can also occur on many weed species, e.g., black nightshade (*Solanum nigrum* L.) and bittersweet nightshade (*Solanum dulcamara*), black henbane (*Hyoscyamus niger* L.) from *Solanaceae* family [Haidar and Sidahmed 2006, Borkowski and Dyki 2008], and lesser swine-cress (*Lepidium didymum* L.), from *Brassicaceae* family [Watts et al. 2024]. The presence of weeds as host plants helps *P. ramosa* survive even in the absence of the main host crops [Watts et al. 2024]. In Poland, *P. ramosa* has been observed on *Galinsoga parviflora*, an annual weed species often found in segetal weed communities of cultivated crops, especially vegetable crops [Anyszka et al. 2025].

The research hypothesis assumed that *P. ramosa* can parasitize on the roots of some root vegetables from *Apiaceae* family in Poland, and its harmfulness varied. This study aimed to determine the possible risk of *P. ramosa* parasitism on carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*), parsley (*Petroselinum sativum* (Mill) Fuss.) and celeriac (*Apium graveolens* var. *rapaceum*) roots, in Polish conditions, and its influence on the plant's morphological features.

MATERIALS AND METHODS

The experiments were conducted in 2020–2022 in Skierniewice, Poland, in the greenhouse and in the open. The studies on parasitism of branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L. Pomel) on the roots of three vegetable species: carrot (*Daucus carota* L.), cv. Nerac F₁, parsley (*Petroselinum sativum* (Mill) Fuss.), cv. Eagle and celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum* (Mill)), cv. Maxim was determined.

The experiments were set up in a greenhouse, with five replicates, and after six weeks, the pots were moved to an open area (uncovered vegetation hall). Seeds of tested vegetable crops were sown into 5-liter pots filled with a substrate containing 75% podzolic soil and 25% peat. For each crop, five pots were prepared containing the vegetable seeds alone (control) and five pots containing both the vegetable seeds and *P. ramosa* seeds. To each pot, 12 seeds of the tested vegetable species (host plants) were sown, and *P. ramosa* seeds were added to half of the pots at a rate of approximately 0.01 g per pot (1–2 thousand seeds). Pots for sowing *P. ramosa* were partially filled with substrate, and the top layer of the substrate was mixed with *P. ramosa* seeds and then put into the pots. *P. ramosa* seeds were collected in the previous year while conducting the test with tomatoes. Seeds were stored in a paper bag at room temperature. A small number of seeds were used for sowing due to their small mass and size. Seeds of all plant species were sown into pots on May 15, 2020 (experiment I), July 22, 2021 (experiment II), and May 31, 2022 (experiment III).

After emergence, the small seedlings of vegetable plants were thinned to 6 plants per pot. During the summer, the plants were fertilised (once a month) with a multi-component fertiliser and systematically watered until constant humidity was achieved. During experiments, the tested plants were sprayed against pests and diseases, with plant protection products officially approved in Poland, according to the principles of integrated plant protection. In October of each year, the pots were moved for the winter to the greenhouse, where the temperature did not drop below 5°C, and during sunny weather slightly exceeded 10°C.

In the experiments, the number of pots with *P. ramosa* inflorescence shoots, the number of *P. ramosa* shoots per pot and their height, the number of capsules with seeds per pot, and the height of inflorescence shoots of vegetable plants were determined. *Phelipanche ramosa* emerges unevenly, therefore for each vegetable plant species, the number of pots in which *P. ramosa* inflorescence shoots emerged from the soil at a given date was determined. In each experiment, observations were conducted on five dates, depending on the term of shoot emergence. The results are presented in Table 1.

The number of *P. ramosa* inflorescence shoots in pots was determined 4–5 times in each experiment, between 105 and 375 days after sowing. Observations were made in the year the experiment was established and the following year, depending on the intensity of shoot emergence. Observations of the number of inflorescence shoots emerging from the soil also determine the timing of *P. ramosa*. Observations in the year following the experiment were possible because the pots were stored in an unheated greenhouse during the winter. Five observations were made for each plant, depending on the occurrence of the parasite, and the results are presented in Table 2.

The height of *P. ramosa* inflorescence shoots was determined 2–3 times in each experiment, based on measurements of the three tallest shoots in each pot. In the experiment established in 2020, measurements were taken 210 and 346 days after sowing, in the experiment established in 2021, after 311 and 342 days, and in the experiment established in 2022, after 135, 166, and 188 days. The results for the tallest shoot are presented in Table 3. The number of capsules with seeds, produced by *P. ramosa*, was determined in an experiment started in 2020 and 2021, between 344 and 382 days after sowing. The number of fully developed capsules with seeds in each pot was determined, the average value per pot was calculated, and the mean for two years was presented in Table 3.

The height of inflorescence shoots of the tested vegetable species was determined in experiments conducted in 2020/2021 and 2021/2022. Inflorescence shoots were measured in each pot 358 and 327 days after sowing, respectively, and the average shoot height was calculated for each plant. The results were presented on Figure 1A and 1B.

The results were statistically analysed by analysis of variance, using Statistica Program v. 13.0 (Statsoft Inc.). The Newman-Keuls test ($p = 0.05$) was used to compare the significance of the means.

The study aimed to determine the possible risk of *P. ramosa* parasitizing vegetable crops from *Apiaceae* family, under Polish conditions, and its influence on morphological features.

RESULTS

The seeds of the tested vegetable crops and *P. ramosa* were sown at different times. The sowing date did not affect the germination and emergence of vegetable seeds. *Phelipanche ramosa* shoots appeared at different times. The first shoots of *P. ramosa*, over the years, appeared 105 days after celeriac sowing, 110 days after carrot sowing, and 117 days after parsley sowing (Table 1).

In the pots with carrots, the first *P. ramosa* shoots appeared at 110 days after sowing in the experiment started in 2020, at 342 days after sowing in the experiment started in 2021, and they did not appear at all in the experiment carried out in 2022 (Table 1). In the experiment started in 2020, the shoots of *P. ramosa* appeared the earliest in the pots with carrot, compared to other tested crops. The share of pots with *P. ramosa* shoots between 110 and 144 days after sowing ranged from 20% to 80%, depending on the observation date. After 340 days from sowing, *P. ramosa* shoots were observed in fewer pots than after 186 days after sowing (Table 1), because old shoots withered and dried and were removed from pots, and new ones appeared after the next 21 days. In the experiment started in 2021, the shoots of *P. ramosa* in carrots appeared only in 1 pot, and there were few of them, while in the experiment carried out in 2022, no *P. ramosa* shoots were visible at all observation dates.

In parsley, *P. ramosa* shoots appeared at 117 days after sowing in the experiment started in 2020, and were visible at all the next observation dates, but they were not observed in subsequent years. In celeriac, *P. ramosa* shoots were observed in all experiments. The first shoots in the experiment started in 2020, appeared 186 days after sowing, in the experiment started in 2021, after 293 days, and in the experiment carried out in 2022, after 105 days (Table 1).

In all years of the study, the largest number of *P. ramosa* shoots was found in celeriac (Table 2). In the experiments started in 2020, the number of *P. ramosa* shoots, after 375 days from sowing, was

on average 15.6, in the experiment started in 2021, after 342 days from sowing, it was 10.4, and in the experiment conducted in 2022, after 188 days from sowing, it was 12.8 shoots. In carrot, in the experiment started in 2020, *P. ramosa* shoots appeared at all observation terms and in 2021, at 342–356 days after sowing, while the number of shoots was small. In parsley, there were a few *P. ramosa* shoots that appeared only in the experiment started in 2020, and were not observed in subsequent years. Although they were higher and produced more capsules with seed than in carrots (Tables 2 and 3).

Table 1. The number of pots with *Phelipanche ramosa* shoots in vegetable crops from *Apiaceae* family

Cultivated plant	The number of pots with <i>P. ramosa</i> shoots (pcs.)														
	Experiments – years														
	2020/2021					2021/2022					2022				
	Days after sowing the seeds (DAS)*														
	110	117	144	186	340	160	293	311	327	342	105	120	127	135	188
Carrot	1	2	4	4	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Parsley	0	2	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celeriac	0	0	0	3	5	0	2	3	5	5	1	2	3	4	4

* Observation dates: experiment 2020/2021 – DAS = 110 (2.09.2020), 117 (9.09.2020), 144 (9.10.2020), 186 (17.11.2020), 340 (20.04.2021), experiment 2021/2022 – DAS = 160 (29.12.2021), 293 (11.05.2022), 311 (29.05.2022), 327 (14.06.2022), 342 (29.06.2022), experiment 2022 – DAS = 105 (13.09.2022), 120 (28.09.2022), 127 (5.10.2022), 135 (13.10.2022), 188 (5.12.2022)

Table 2. The number of *Phelipanche ramosa* inflorescence shoots in the pots with vegetable crops from *Apiaceae* family

Cultivated plant	Average number of <i>P. ramosa</i> shoots in one pot												
	2020/2021				2021/2022				2022				
	Days after sowing (DAS)*												
	110	144	319	375	311	327	342	356	105	127	135	166	188
Carrot	0.4	3.2	2.2	2.5	0	0	0.3	0.6	0	0	0	0	0
Parsley	0	1.0	2.0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celeriac	0	0	7.2	15.6	4.0	7.8	10.4	10.4	0.2	2.8	3.8	11.8	12.8

* Observation dates: experiment 2020/21 – DAS = 110 (2.09.2020), 144 (6.10.2020), 319 (30.03.2021), 375 (25.05.2021), experiment 2021/22 – DAS = 311 (29.05.2022), 327 (14.06.2022), 342 (29.06.2022), 356 (13.07.2022), experiment 2022 – DAS = 105 (13.09.2022), 127 (5.10.2022), 135 (13.10.2022), 166 (13.11.2022), 188 (5.12.2022)

The height of *P. ramosa* shoots depends on the year and date of observation (Table 3). In the experiment started in 2020, the height of *P. ramosa* shoots in pots with parsley and celeriac differed slightly, while in carrots, it was clearly lower. The highest shoots were observed in the pots with celeriac, in an experiment carried out in 2022. After 166 and 188 days of vegetation, their height was 23 cm (Table 3). The height of the shoots is related to the host plant and weather conditions. October was warm and sunny, which stimulated the growth of *P. ramosa* in the shade of densely leafed celeriac. Both tall and lower shoots flowered abundantly and produced seeds. Capsules with seeds appeared on the shoots, having already reached 1 cm above the ground. *P. ramosa* shoots grown in the pots with carrots were the lowest and produced the fewest capsules with seeds (Table 3). In the experiment carried out in 2022, *P. ramosa* plants were not visible in carrot and parsley, and intensive development of this parasite in pots with celeriac was noted. This experiment was completed in December 2022; hence, there is no data from the spring of the next year.

The differences between the height of inflorescence shoots of vegetable crops, growing in the presence and without of *P. ramosa*, were noted as trends, and were not always statistically significant (Figure 1A, B). In the experiment started in 2020, the height of inflorescence shoots of celeriac and carrot,

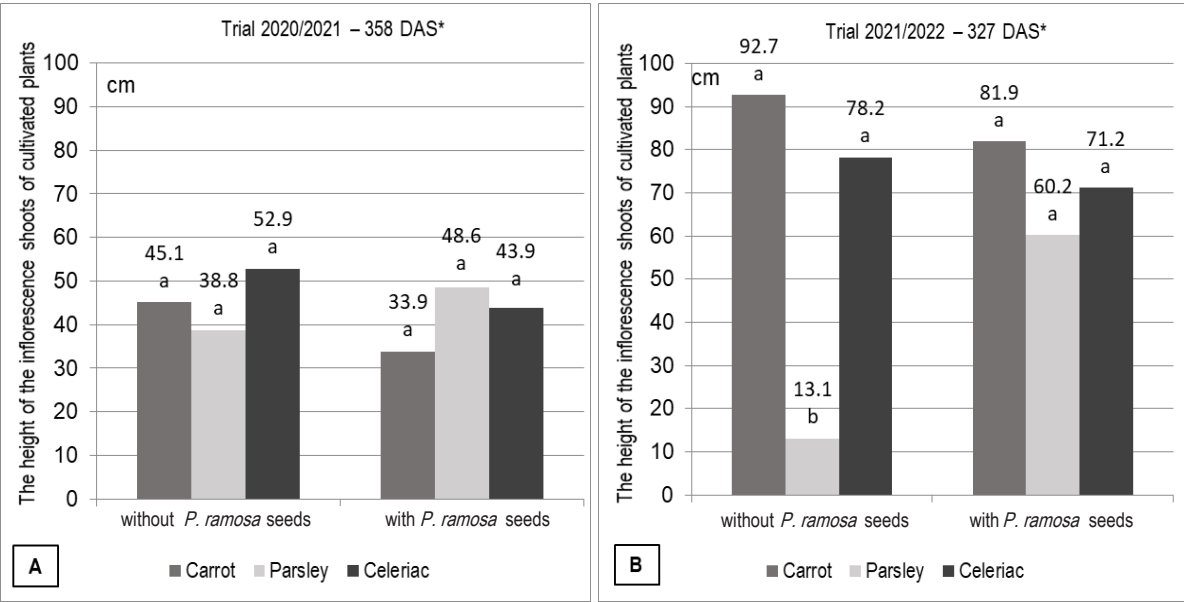
at 322 days after sowing (April 2, 2021), grew without *P. ramosa* (control) was comparable to the shoots grown with the presence of *P. ramosa*. Later, a increase in the height of inflorescence shoots growing without *P. ramosa* was observed. After 358 days from sowing, in the experiment started in 2020, and after 327 days in the experiment started in 2021, the inflorescence shoots of carrot and celeriac grew without *P. ramosa* (control) were higher, in comparison to those growing in the presence of *P. ramosa*. A trend toward reduced growth of inflorescence shoots of carrots and celeriac grown in the presence of *P. ramosa* was observed, suggesting a potential harmful effect of this parasite. *Phelipanche ramosa* develops on the roots of host plants in the soil, therefore even if this parasite is not visible above the soil surface, its negative impact on the host plants may be revealed. In carrot and celeriac, no differences were found in the timing of inflorescence shoots emergence between the plants grown in the presence and without *P. ramosa*.

Table 3. The number of capsules with seeds and the height of the highest shoot of *Phelipanche ramosa* in vegetables crops from Apiaceae family

Cultivated plant	The number of capsules with seeds in one pot (2020–2022)	The height of the highest shoot of <i>Phelipanche ramosa</i> [cm]						
		Experiments – years						
		2020/2021		2021/2022		2022		
		Days after sowing (DAS)*						
	DAS 344-382	210	346	311	342	135	166	188
Carrot	2.1 ^a	9	3	–	3	–	–	–
Parsley	7.1 ^a	13	11	–	–	–	–	–
Celeriac	179.5 ^b	11	10	5	8	13	23	23

The same letters within column indicate no differences according to Newman-Keuls test at $p = 0.05$.
* Observation dates: experiment 2020/2021 – DAS = 210 (11.12.2020), 346 (26.04.2021), experiment 2021/2022 – DAS = 311 (29.05.2022), 342 (29.06.2022), experiment 2022 – DAS = 135 (13.10.2022), 166 (13.11.2022), 188 (5.12.2022)

Figure 1. Height of inflorescence shoots of vegetable crops, growing without and with *Phelipanche ramosa*, (A) at 358 DAS in 2020/2021 and (B) 327 DAS in 2021/2022



The same letters within figure indicate no differences according to Newman-Keuls test, at $p = 0.05$.
* DAS – days after sowing

Significant differences in the height of parsley inflorescence shoots were observed. Inflorescence shoots of parsley grown in the presence of *P. ramosa* were taller than those grown without the parasite (control). These differences were particularly evident in the experiment begun in 2021, during observations conducted 327 days after sowing. In this experiment, in the third decade of May (May 25, 2022), 307 days after sowing, only two inflorescence shoots exceeding 20 cm in height were observed in parsley grown without *P. ramosa* (control), whereas in the presence of *P. ramosa*, 11 shoots reaching 100 cm in height were observed, and these shoots were already beginning to flower. Such differences in the height of parsley inflorescence shoots may likely be because *P. ramosa*, under conditions of incomplete vernalization of parsley, stimulates the growth of inflorescence shoots. The vernalization process was described by Zurzycki and Michniewicz [1985], Kopcewicz and Lewak [1998, 2002]. This process is the effect of low temperatures of 0–10°C, which triggers the sprouting and flowering of biennial plants. Vernalization is influenced by plant age, day length, light intensity, gibberellin, ABA, kinetin, vitamin E, as well as other factors such as parasitism by *P. ramosa*.

DISCUSSION

Studies by many authors have shown that *P. ramosa* can parasitise many crop species and some weed species, but not all plants are good hosts for this parasite. *P. ramosa* seeds germinate only in the presence of germination stimulants released by the host plants [Bouwmeester et al. 2003, Cardoso et al. 2011]. In favourable thermal conditions and the presence of a good host, *P. ramosa* appears earlier and develops intensively, producing seeds.

The date of appearance of the first inflorescence shoots of *P. ramosa* in different crop species varied. In the studies, being the subject of this paper, the first shoots of *P. ramosa* appeared 105–117 days from sowing the seeds of the tested vegetable species. It was found that in tobacco, in warm climates, *P. ramosa* plants emerge at approximately 45 to 55 days [Lolas 1994, Wegmann 2004]. In Chinese cabbage, the first inflorescence shoots of *P. ramosa* appeared 97–102 days after planting [Anyszka et al. 2025]. In earlier experiments carried out with tomato [Borkowski and Dyki 2008], the first inflorescence shoots of *P. ramosa* appeared 62–74 days from planting the plants and showed vigorous growth [Borkowski et al. 2018]. It should be assumed that tomato roots produce more strigolactones, substances that stimulate the germination of *P. ramosa* seeds near the host roots [Akiyama and Hayashi 2006, Cardoso et al. 2011, Fernandez-Aparicio et al. 2011]. In addition, the tomato is grown from seedlings, therefore its root system was already developed, and earlier produced stimulants, so *P. ramosa* seeds had faster contact with the tomato roots. The date of appearance of the first shoots of *P. ramosa* may indicate which plant is a better host for this parasite. The presented results show that *P. ramosa* develops better on the roots of celeriac than carrot and parsley. Good hosts are also tomato [Disciglio et al. 2016] and tobacco [Wegmann 2004]. *Phelipanche ramosa* can also appear on the roots of *Galinsoga parviflora* [Anyszka et al. 2025], but this weed is rather a poor host.

The growth and development of *P. ramosa*, determined by the number of shoots produced and the number of capsules with seeds, depends on the availability of assimilates produced by the host plant, which the parasite can use through the root system [Buschmann 2004, Akiyama and Hayashi 2006, Dzierżyńska 2007] and a connection called haustoria. *Phelipanche ramosa*, like other broomrapes (*Orobanchaceae* and *Phelipanche* spp.), during its underground life cycle, undergoes processes of germination, haustorial differentiation from the radicle, haustorial penetration of the host, and formation of a vascular connection with the host [Fernández-Aparicio et al. 2011]. It also affects the height of the *P. ramosa*. In the presented experiments, a different number of *P. ramosa* shoots was found in the tested vegetable species, as well as in individual years. The largest number of shoots, as well as the highest inflorescence shoots, were obtained in celeriac.

The study results show the varied impact of *P. ramosa* on the tested vegetable crops, with the timing of its entry into the plant being particularly important. The harmfulness of *P. ramosa* is greater if the parasite attacks the host plant in the earlier growth phase, and it is most severe when *P. ramosa* flowers and sets the seeds [Gibot-Leclerc et al. 2012, Borkowski et al. 2018]. *P. ramosa* can also parasitise some weed species like *Solanum nigrum* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Hyoscyamus niger* L., *Datura*

stramonium L. [Vouzounis and Americanos 1998, Haidar and Sidahmed 2006, Anyszka et al. 2025], therefore it allows survival in the absence of host plant.

The height of carrot and celeriac inflorescence shoots was lower in the pots with *P. ramosa*, while in parsley, in pots without parasites. Such a difference in the height of parsley inflorescence shoots may likely be because *P. ramosa*, under conditions of incomplete vernalization of parsley, stimulates the growth of inflorescence shoots. The vernalization process was described by Zurzycki and Michniewicz [1985], Kopcewicz and Lewak [1998, 2002]. This process is the effect of low temperatures of 0–10°C, which triggers the sprouting and flowering of biennial plants. Vernalization is influenced by plant age, day length, light intensity, gibberellin, ABA, kinetin, vitamin E, as well as other factors such as parasitism by *P. ramosa*.

Climate change, particularly global warming, may increase the harmful effects of *P. ramosa*. In France, *P. ramosa* has already been shown to reduce the yields of celeriac cultivation [Gibot-Leclerc et al. 2014]. Based on the studies presented, it is reasonable to assume that in the future, *P. ramosa* could also become a significant pest of celeriac in Poland. This concern is supported by *P. ramosa* ability to produce numerous shoots, abundant flowers, and set seeds when it grows in proximity to celeriac.

CONCLUSIONS

It was found that *P. ramosa* can parasitize on the roots of carrots, parsley, and celeriac. The differences between tested plant species were observed in the time of appearance of the first *P. ramosa* inflorescence shoots, the number of the shoots, as well as in growth, flowering, and fruiting. *Phelipanche ramosa* produced the most inflorescence shoots in the pots with celeriac, and these shoots flowered abundantly and set seeds. The results indicate that celeriac is a better host for *P. ramosa* than carrot and parsley.

REFERENCES

- Akiyama K., Hayashi H., 2006. Strigolactones: Chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots. *Ann. Bot.* 97(6), 925–931. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl063>
- Anyszka Z., Golian J., Borkowski J. et al., 2025. The appearance of branched broomrape (*Phelipanche ramosa* L. Pomel) on gallant soldier (*Galinsoga parviflora* Cav.) and some vegetable crops. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 24(2), 65–77. <https://doi.org/10.24326/asphc.2025.5481>
- Avdeyev Y.I., Scherbinin B.M., Ivanova L.M. et al., 2003. Studying of tomato resistance to broomrape and breeding varieties for processing. *Acta Hort.* 613, 283–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.613.44>
- Borkowski J., Dyki B., 2008. Zaraza gałęzista (*Orobancha ramosa* L.) i jej zwalczanie na roślinach uprawnych, szczególnie na pomidorach. *Post. Nauk Roln.* 60(3), 35–41. [In Polish].
- Borkowski J., Machłańska A., Dyki B. et al., 2018. Wpływ zarazy gałęzistej na wzrost i plonowanie pomidora odmiany „Gro-wdena F1”. *Zesz. Nauk. Instytutu Ogrodnictwa* 26, 119–126. [In Polish].
- Buschmann H., 2004. Hanftod, Tabakwürger – bald auch eine Bedrohung für den Raps? *Gesunde Pflanz.* 56(2), 39–47. [In German]. <https://doi.org/10.1007/s10343-004-0023-1>
- Bouwmeester H.J., Matusova R., Zhongkui S. et al., 2003. Secondary metabolite signalling in host-parasitic plant interactions. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6(4), 358–364. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00065-7)
- Cardoso C., Ruyter-Spira C., Bouwmeester H.J., 2011. Strigolactones and root infestation by plant-parasitic Striga, Orobancha and Phelipanche spp. *Plant Sci.* 180(3), 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.007>
- Diaz J.S., Norambuena H.M., Lopez-Granados F., 2006. Characterization of the holoparasitism of *Orobancha ramosa* on tomatoes under field conditions. *Agric. Tec.* 66(3), 223–234. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000300001>
- Disciglio G., Lops F., Carlucci A. et al., 2016. Effects of different methods to control the parasitic weed *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel in processing tomato crops. *Ital. J. Agron.* 11(681), 39–46. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.681>
- Dzierżyńska A., 2007. Wykorzystanie komunikacji chemicznej między roślinami do zwalczania chwastów pasożytniczych. *Post. Nauk. Roln.* 327(2), 33–46 [In Polish].
- Fernandez-Aparicio M., Yoneyama K., Rubiales D., 2011. The role of strigolactones in host specificity of *Orobancha* and *Phelipanche* seed germination. *Seed Sci. Res.* 21(1), 55–61. <https://doi.org/10.1017/s0960258510000371>
- Gibot-Leclerc S., Salle G., Reboud X. et al., 2012. What are the traits of *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel that contribute to the success of its biological cycle on its host *Brassica napus* L. *Flora* 207(7), 512–521. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.011>

- Gibot-Leclerc S., Reibel C., Legros S., 2014. First report of branched broomrape (*Phelipanche ramosa*) on celeriac (*Apium graveolens*) in Eastern France. *Plant Dis.* 98(9), 1286. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-14-0148-PDN>
- Gebregeziher W.G., Alemu A.K., Zebib K. et al., 2023. Application of soil solarization and manure, individually and in combination, control broomrape infestation and improve tomato yield. *Int. J. Veg. Sci.* 29, 205–214. <https://doi.org/10.1080/19315260.2023.2171553>
- Haidar M., Sidahmed M.M., 2006. Elemental sulphur and chicken manure for the control of branched broomrape (*Orobanche ramosa*). *Crop Prot.* 25(1), 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.022>
- Hershenhorn J., Eizenberg H., Dor E. et al., 2009. *Phelipanche aegyptiaca* management in tomato. *Weed Res.* 49 (1), 34–47. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2009.00739.x>
- Joel D.M., Hershenhorn J., Eisenberg H. et al., 2007. Biology and management of weedy root parasites. *Hortic. Rev.* 33, 267–349. <https://doi.org/10.1002/9780470168011.ch4>
- Kopcewicz J., Lewak S., 1998. Podstawy fizjologii roślin. Praca zbiorowa. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 508–512 [In Polish].
- Kopcewicz J., Lewak S., 2002. Fizjologia roślin. Praca zbiorowa. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 542–546 [In Polish].
- Kostoy E., Batchvarova R., Slavov S.B., 2007. Application of chemical mutagenesis to increase the resistance of tomato to *Orobanche ramosa* L. *Bulg. J. Agric. Sci.* 13, 505–513.
- Lolas P.C., 1994. Herbicides for control of broomrape (*Orobanche ramosa* L.) in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Weed Res.* 34(3), 205–209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1994.tb01988.x>
- Mohamed K.I., Papes M., Williams R. et al., 2006. Global invasive potential of 10 parasitic witchweeds and related *Orobanchaceae*. *Ambio* 35(6), 281–288. <https://doi.org/10.1579/05-r-051r.1>
- Moreau D., Gibot-Leclerc S., Girardin A. et al., 2016. Trophic relationships between the parasitic plant species *Phelipanche ramosa* (L.) and different hosts depending on host phenological stage and host growth rate. *Front. Plant Sci.* 7, 1033. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01033>
- Parker C., 2009. Observations on the current status of *Orobanche* and *Striga* problems worldwide. *Pest Manag. Sci.* 65(5), 453–459. <https://doi.org/10.1002/ps.1713>
- Parker C., Riches C.R., 1993. Parasitic weeds of the world: biology and control. CABI, Wallingford, 111–163.
- Piowarczyk R., 2012. A revision of distribution and historical analysis of preferred hosts of *Orobanche ramosa* (Orobanchaceae) in Poland. *Acta Agrobot.* 65(1), 53–62. <https://doi.org/10.5586/aa.2012.043>
- Piowarczyk R., Kolanowska M., 2023. Effect of global warming on the potential distribution of a holoparasitic plant (*Phelipaea tournefortii*): both climate and host distribution matter. *Sci. Rep.* 13, 10741. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37897-1>
- Qasem J.R., 1998. Chemical control of branched broomrape (*Orobanche ramosa*) in glasshouse grown tomato. *Crop Prot.* 17(8), 625–630. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00062-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00062-3)
- Qasem J.R., Foy C.L., 2007. Screening studies on the host range of branched broomrape (*Orobanche ramosa*). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82(6), 885–892. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512322>
- Qasem J.R., Kasrawi M.A.R., 1995. Variation of resistance to broomrape (*Orobanche ramosa*) in tomatoes. *Euphytica* 81(1), 109–114. <https://doi.org/10.1007/bf00022464>
- Schneeweiss G.M., 2007. Correlated evolution of life history and host range in the non photosynthetic parasitic flowering plants *Orobanche* and *Phelipanche* (Orobanchaceae). *J. Evol. Biol.* 20(2), 471–478. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2006.01273.x>
- Vouzounis N.A., Amerikanos P.G., 1998. Control of Orobanche (broomrape) in tomato and eggplant. *Tech. Bull. Cypr. Agric. Res. Inst.* 196(1–7), 35.
- Watts A., Raipuria R.K., Chaudhary A. et al., 2024. Understanding life cycle of parasitic weed *Phelipanche ramosa* infesting *Brassica juncea* in India: new host species and seed coat structure. *J. Crop Improv.* 38(4), 329–343. <https://doi.org/10.1080/15427528.2024.2346335>
- Wegmann K., 2004. Ecology and epidemiology of *Orobanche ramosa* in Europe. Parasitic plant management in sustainable agriculture “Genetic diversity of parasitic plants”, 19–21 February 2004, Cordoba, Spain.
- Zehhar N., Labrousse P., Arnaud M.C. et al., 2003. Study of resistance to *Orobanche ramosa* in host (oiled rape and carrot) and non-host (maize) plants. *Eur. J. Plant Pathol.* 109, 75–82. <https://doi.org/10.1023/A:1022060221283>
- Zimdahl R.L., Basinger N.T., 2024. Fundamentals of weed science, 6th Ed., Academic Press Elsevier, 560. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00489-X>
- Zurzycki J., Michniewicz M., 1985. Fizjologia roślin. Praca zbiorowa. PWRiL, Warszawa, 606–612 [In Polish].

Source of funding: The research was conducted as part of the statutory activities of the National Institute of Horticultural Research.

Received: 17.09.2025

Accepted: 11.02.2026

Published: 27.03.2026



¹ Faculty of Agricultural Sciences, University of Siedlce, Prusa 14, 08-110 Siedlce, Poland

² Department of Dietetics, Faculty of Health Sciences, John Paul II University of Applied Sciences,
Biała Podlaska, Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Poland

*Corresponding author e-mail: krystyna.zarzecka@uws.edu.pl

KRYSZYNA ZARZECKA^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-7792-6448>

MAREK GUGAŁA¹  <https://orcid.org/0000-0001-5048-3432>

IWONA MYSTKOWSKA²  <https://orcid.org/0000-0002-8361-5806>

Yield potential of potatoes with colored flesh in central-eastern Poland

Abstract. This work presents the results of the researchers' study, including a three-year (2021, 2022, 2023) field experiment that was a single-factor trial with three replicates, using table potatoes as the test plant. Eight potato cultivars with different flesh colours were tested: Bora Valley – dark purple flesh, Vitelotte Noire – purple, Blauve Annelise – purple, Salad Blue – purple, Provita – purple, Rote Emmalie – red, Herbie 26 – red, and Eurostar – light yellow. The following parameters were measured: total tuber yield, marketable yield (tubers with a diameter of ≥ 35 mm, free from external and internal defects), and large tuber yield (potatoes with a diameter > 50 mm). The analysed yields were significantly influenced by the cultivars and weather conditions during the study years. Among the coloured cultivars, the highest average total yields were recorded for Rote Emmalie, Provita, and Bora Valley cultivars; the highest marketable yields for Bora Valley, Provita, and Rote Emmalie; and the highest large tuber yields for Bora Valley and Provita. In 2021 (relatively dry) and 2022 (optimal conditions), tuber yields were significantly higher than in 2023 (a very dry year).

Keywords: *Solanum tuberosum* L., cultivars, total yield, marketable yield, large tuber yield

INTRODUCTION

Agriculture is currently experiencing numerous transformations, including the adoption of new cultivation technologies, a transition from conventional to integrated and organic farming systems, and responses to environmental challenges that necessitate a reduction in the use of synthetic fertilizers and pesticides while promoting biodiversity. Additionally, advancements in plant breeding, such as the introduction of new agricultural crop cultivars, and generational changes are evident [Sroka et al. 2019, Peltonen-Sainio et al. 2020]. Concurrently, climate change poses substantial threats, including droughts, heatwaves, precipitation deficits, and milder winters, all of which alter and frequently exacerbate the prevalence of plant diseases and pest infestations [Zarzyńska et al. 2017, von Gehren et al. 2023]. The potato (*Solanum tuberosum* L.), the fourth most important crop globally, is one of the principal agricultural crops whose cultivation and utilisation practices are affected by such changes. It is a major food crop worldwide, playing a key role in ensuring food security. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) recognises the potato as an exceptional crop due to the high nutritional value of its tubers and its capacity to produce substantial dry matter per unit area [Devaux et al. 2021, Lal et al. 2023]. It is cultivated in over 160 countries, with yields and consumption patterns varying widely. Global average yields are approximately 21 tonnes per hectare; in the EU-27, they reach 36.3 tonnes

per hectare, with the highest yields recorded in Germany and the Netherlands (43.8 and 42.2 tonnes per hectare, respectively). In Poland, the average yield is 30 tonnes per hectare. Global per capita annual potato consumption is around 32 kg; in Poland, it is 82 kg – approximately 40% higher than the EU average [Dzwonkowski 2024]. Globally, there are around 4,000 potato cultivars, most of which originate from the Andes. In the European Union, approximately 1,650 cultivars are listed in the Common Catalogue of Cultivars of Agricultural Plant Species (CCA), while in Poland, 119 *Solanum tuberosum* cultivars were registered in 2025 [European Commission 2023, Lenartowicz 2025]. Consequently, there is substantial cultivar diversity. Growing consumer interest in health-conscious diets and lifestyles has further driven demand for nutritious raw materials and products, including potatoes. This has created opportunities for both new and older, appealing potato cultivars. Rising societal awareness has, in recent years, heightened interest in potatoes with coloured flesh, which contain all the valuable nutrients of white-fleshed tubers while also possessing health-promoting anthocyanin compounds [Bech 2020, Pino and Vergara 2021, Zarzecka et al. 2022]. The most of coloured cultivars originate from Peru and Bolivia. In Poland, breeding efforts at the Zamarte Potato Breeding Station led to the registration of the first Polish cultivars, Provita, in the National Register of Cultivars in 2021. This cultivar, characterised by purple skin and flesh, is adapted to the Polish climate, suited to light soils, and requires moderate fertilizer inputs. Its yield, ranging from 22 to 37 tonnes per hectare, is lower than that of conventional cultivars, and produces medium-sized tubers. However, it is rich in polyphenolic compounds, making it significantly healthier than yellow – or cream-fleshed cultivars [Bech 2020, Nowacki 2021, Lenartowicz 2025]. This study aims to evaluate the yield performance of both older and newer table potato cultivars with coloured flesh – European and non-European – under varying weather conditions. The research hypothesis assumed that in Polish conditions it is possible to obtain optimal yields of potato tubers of both the domestic Provita cultivar and selected foreign cultivars.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study

The field experiment was conducted over three years (2021, 2022, 2023) at the Agricultural Experimental Station of the University of Siedlce. The soil of the experimental site was classified as a Haplic Luvisol with a sandy clay texture, according to the World Reference Base for Soil Resources [WRB 2015]. Each year, before the experiment commenced, soil samples were collected from a depth of 0–30 cm. The soil reaction was acidic to slightly acidic (pH in 1 N KCl ranging from 5.00 to 5.62), with a medium content of available potassium (123–159 mg kg⁻¹) and magnesium (46.0–64.0 mg kg⁻¹). Potatoes were cultivated annually following winter triticale. The experiment was a single-factor trial with three replicates, involving eight table potato cultivars. The cultivars were characterised by their country of origin, year of registration (where applicable), and flesh colour as follows: Bora Valley (Korea, not registered, dark purple), Vitelotte Noire (Peru-France, not registered, purple), Blaue Annelise (Germany, 2007, purple), Salad Blue (United Kingdom, 2007, purple), Provita (Poland, 2021, purple), Rote Emmalie (Germany, 2004, red), Herbie 26 (Czech Republic, not registered, red), and Eurostar (The Netherlands, 2013, light yellow). In the experiment, organic manure (farmyard manure at 25 t ha⁻¹) and mineral fertilisation (phosphorus at 44.0 kg P ha⁻¹, potassium at 124.5 kg K ha⁻¹ and nitrogen at 100 kg N ha⁻¹) were applied. Potato tubers were planted manually with a row spacing of 0.675 m and an intra-row spacing of 0.40 m between plants. Crop protection measures were implemented in accordance with national methodological recommendations [Wójtowicz et al. 2023].

Plant material

The research material consisted of tuber yields obtained from the field experiment. The assessed parameters included total yield, marketable yield, large tuber yield, and their proportions relative to the total yield. Immediately prior to harvest, ten plants were randomly sampled from each plot, and their tubers were weighed. Using a square calibrator, the tubers were subsequently sorted into size fractions based on diameter: <35 mm, 35–50 mm, 51–60 mm, and >60 mm. Tubers with a diameter of ≥35 mm

were classified as marketable, while those ≥ 50 mm in diameter were considered large tubers. Total yield comprised the combined weight of the tuber samples from the ten selected plants and the tubers harvested from the entire plot. Marketable yield comprised tubers ≥ 35 mm in diameter, free from external and internal defects. Large tuber yield consisted of tubers with a diameter > 50 mm. All values were converted to a per-hectare basis [Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 29 października 2003 r.].

Statistical analysis

The results obtained from the experiment were subjected to analysis of variance (ANOVA) for eight cultivars across three study years. The significance of differences between means was verified using Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test at a significance level of $p \leq 0.05$ [Trętowski and Wójcik 1991].

Meteorological conditions

Weather conditions during the potato growing season varied across the study years (Table 1). In 2021, precipitation and air temperature were close to the long-term averages for the study area, amounting to 292.8 mm and 15.4°C, respectively. Based on the Sielianinov hydrothermal index, this was a relatively dry year. The following growing season, 2022, was cooler (14.8°C), with a similar precipitation level (289.0 mm), and was classified as an optimal year. In 2023, precipitation was notably low (185.5 mm), while the average air temperature during the season was 16.6°C, exceeding the long-term average by 1°C, making it a very dry year. Wójtowicz et al. [2023] state that from May to September, high temperatures require at least 350 mm of precipitation, while approximately 250 mm is sufficient in cooler years.

Table 1. Precipitation, air temperature and Sielianinov hydrothermal index during the conduct of the experiment in months IV–IX

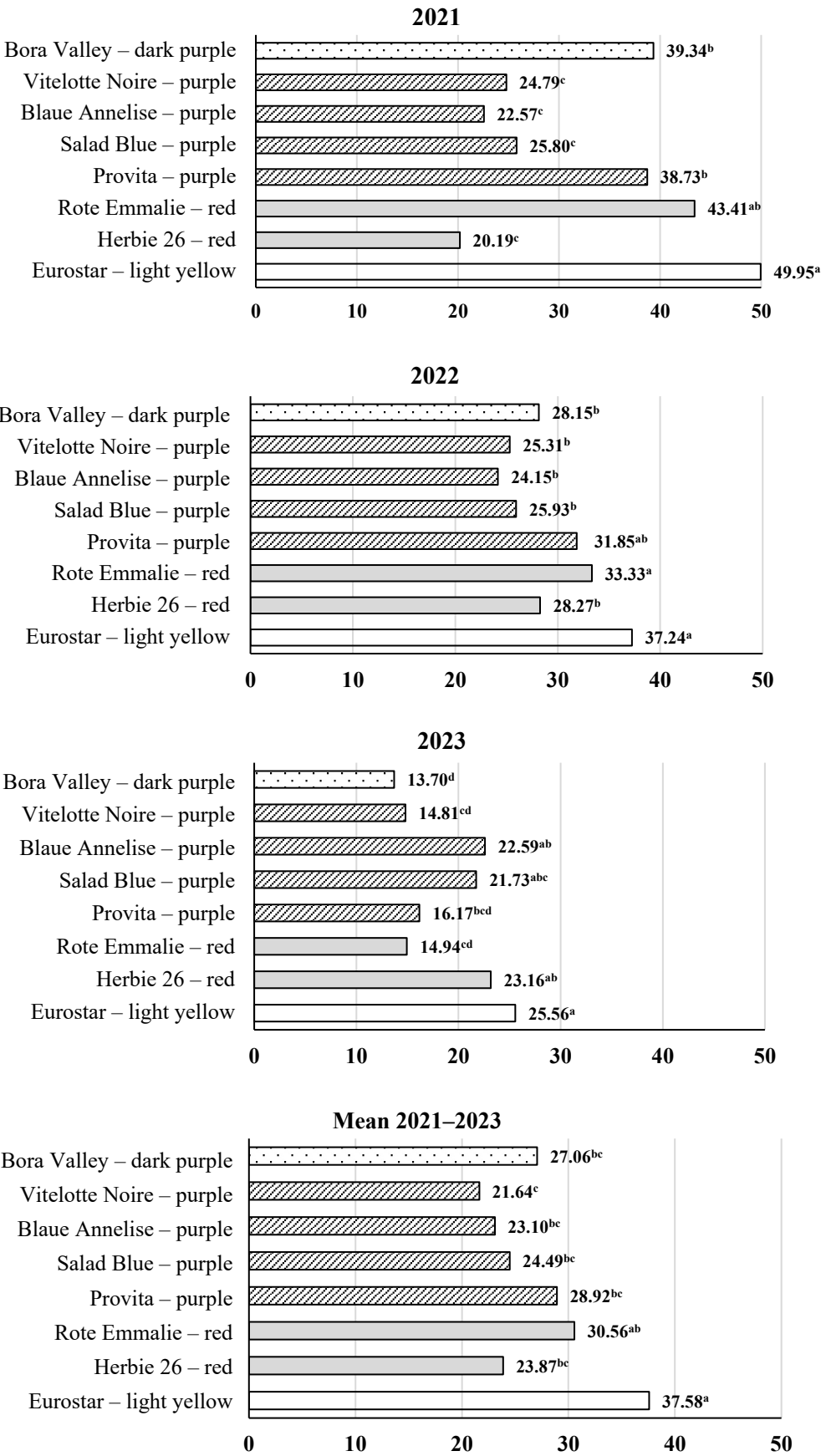
Years	Precipitation (mm)	Air temperature (°C)	Sielianinov hydrothermal index (K)*
2021	292.8	15.4	1.2 – relatively dry
2022	289.0	14.8	1.4 – optimal
2023	185.5	16.6	0.7 – very dry
Multi-year period 2002–2024	293.0	15.6	–

* Skowera et al. 2014

RESULTS AND DISCUSSION

Potato tubers are a staple food in human diets across most countries, making the quantity and quality of harvested yields significant for producers, consumers, and processing industries [Barbaś et al. 2023, Ortiz et al. 2024]. Potato yield and chemical composition are influenced by multiple factors, including cultivars, weather conditions, and cultivation technologies [Zarzyńska et al. 2017, Cima et al. 2020, Ginter et al. 2024]. In recent years, potatoes with coloured flesh (red or purple) have garnered increasing interest from researchers and consumers due to their enhanced nutritional value, appearance, and flavour [Vaitkevičienė et al. 2019]. Statistical analysis of the results revealed that total tuber yields across the study years, and their three-year average, were significantly influenced by the cultivated cultivar and weather conditions (Figure 1, Table 2). The highest average total yield (37.58 t ha⁻¹) and yields across all growing seasons (49.95, 37.24, and 25.56 t ha⁻¹, respectively) were recorded for Eurostar with light yellow flesh. In 2021, the total yield of Eurostar did not differ significantly from that of Rote Emmalie alone. Other cultivars, both red- and purple-fleshed, yielded significantly less, with the

Figure 1. Total yield of potato tubers (t ha⁻¹). Means followed by the same letter are not statistically different at the $p \leq 0.05$



lowest yields from Herbie 26 (Figure 1). In the second year (2022), total tuber yields were lower than in the previous season, ranging from 24.15 to 37.24 t ha⁻¹. The yield of Eurostar was not significantly different from two coloured-fleshed cultivars, Provita and Rote Emmalie, while other cultivars yielded less and formed homogeneous groups for this trait. In 2023, the total yield was the lowest, ranging from 13.70 to 25.56 t ha⁻¹. Statistical analysis indicated that the conventional Eurostar cultivar did not differ significantly from three cultivars: Herbie 26 (red), Blaue Annelise (purple), and Salad Blue (purple). The remaining cultivars produced total yields below 20 t ha⁻¹. Winnicki and Bogucka [2018] analysed the yields of the purple-fleshed Blue Congo cultivar and found them comparable to organic potato yields, averaging 24 t ha⁻¹, which are relatively low compared to the 50 t ha⁻¹ achievable from intensively cultivated fields. Gutiérrez-Quequezana et al. [2020] studied four purple-fleshed cultivars and one yellow-fleshed cultivar, demonstrating significant yield differences, with the highest yield from Blue Congo (purple), followed by a statistically lower yield from Van Gogh (yellow), and even lower yields from other coloured cultivars.

Table 2. Potato yields in the years of the study (t ha⁻¹)

Years	Total yield	Marketable yield (≥35 mm diameter)	Yield of large tubers (≥50 mm diameter)
2021	33.10 ^a	23.72 ^a	12.66 ^a
2022	29.28 ^a	22.33 ^a	13.18 ^a
2023	19.08 ^b	14.48 ^b	6.07 ^b
Mean	27.15	20.18	10.64

Means followed by the same letter are not statistically different at the $p \leq 0.05$.

Marketable yield was significantly influenced by the test cultivars (Figure 2). In 2021, Eurostar produced the highest marketable yield, while other cultivars yielded significantly less, with Herbie 26 having the lowest yield. In 2022, Eurostar again had the highest yield, not significantly different from Provita (the Polish truffle-type cultivar) and Bora Valley (dark purple). In 2023, marketable yield, similarly to total yield, was the lowest, with Eurostar achieving the highest (20.53 t ha⁻¹), followed by Blaue Annelise and Salad Blue, while the remaining cultivars had low yields ranging from 11.25 to 14.13 t ha⁻¹. Numerous authors confirm the significant impact of cultivar on total and marketable yields [Eschemback et al. 2017, Cima et al. 2020, Zarzecka et al. 2020, Zarzyńska et al. 2023, Ortiz et al. 2024].

Large tuber yield, comprising potatoes with a diameter >50 mm, is crucial for the processing industry, particularly for producing fries, chips, and snacks [Rytel et al. 2021]. In the study reported here, Eurostar produced the highest average large tuber yield (24.77 t ha⁻¹), while the remaining cultivars yielded significantly lower values (Figure 3).

Weather conditions significantly influenced the yields of the test cultivars (Tables 1 and 2). Average yields – total, marketable, and large tuber – collected in 2021 and 2022 did not differ significantly, as weather conditions in these seasons were favourable for plant growth and development, classified as relatively dry and optimal, respectively. In contrast, 2023, the warmest year with a significant precipitation deficit, resulted in significantly lower yields compared to 2021 and 2022. Several studies have confirmed that air temperature and precipitation during the growing season greatly affect potato yields [Cima et al. 2020, Zarzecka et al. 2020, von Gehren et al. 2023, Zarzyńska et al. 2023]. The proportions of marketable and large tuber yields relative to total yield are crucial for producers, consumers, and processing plants. In this study, among coloured-fleshed cultivars, Bora Valley, Provita, and Blaue Annelise showed the highest share of marketable yield, while Bora Valley, Provita, and Salad Blue had the highest share of large tuber yield (Figures 4 and 5). These cultivars are well-suited to Polish growing conditions. As noted by Winnicki and Bogucka [2018], the presence of coloured cultivars on the market is driven solely by consumer demand, with cultivation practices like to those of conventional cultivars. The Polish truffle-like (purple) cultivar Provita is particularly recommended due to its stable yields, good flavour, and high anthocyanin content. Among purple-fleshed cultivars available on the market, it is the best adapted to Poland's climate and has readily available planting material [Bech 2020, Kita et al.

Figure 2. Marketable yield (≥ 35 mm diameter) of pot ato tubers (t ha^{-1}). Means followed by the same letter are not statistically different at the $p \leq 0.05$

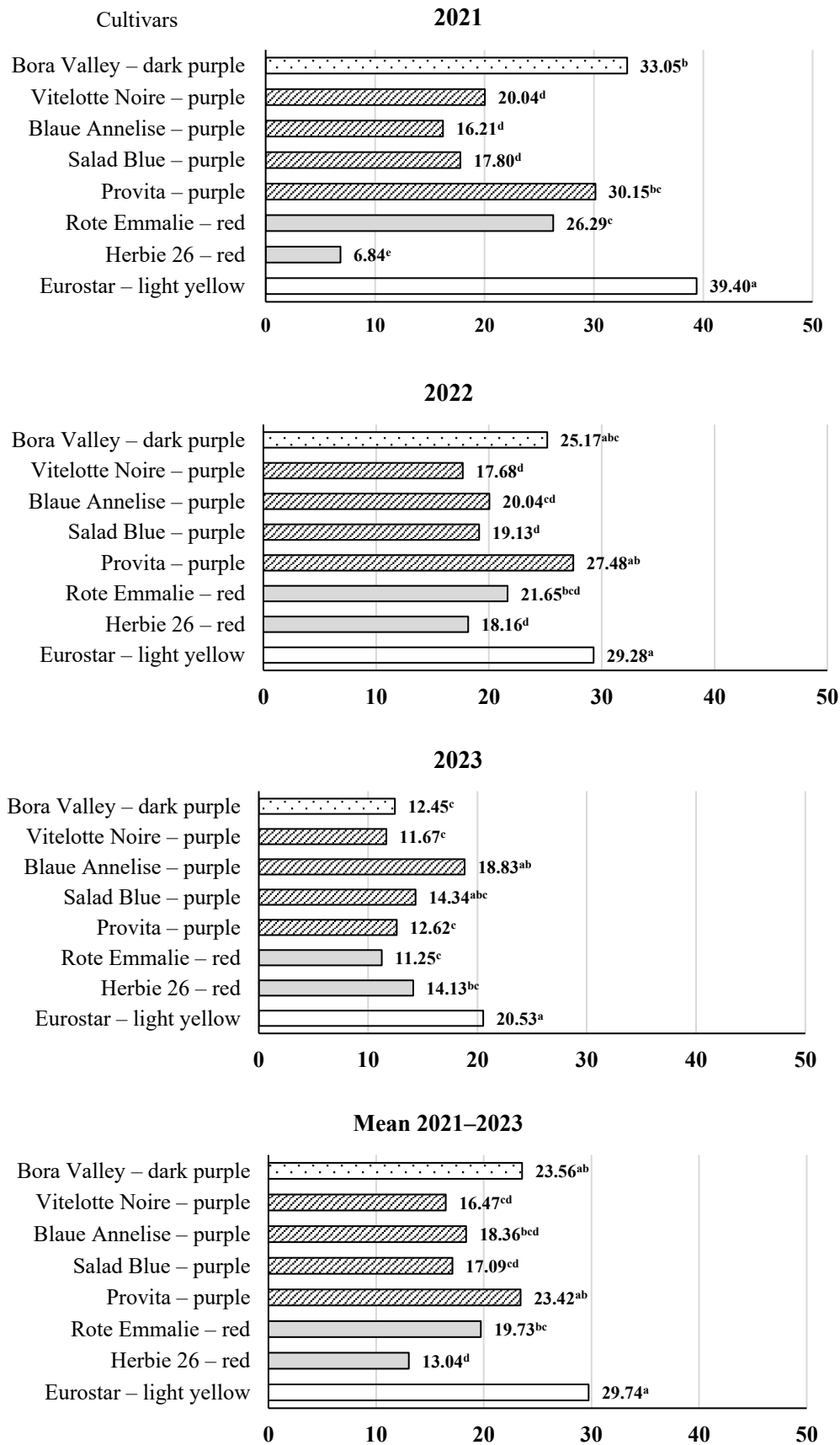


Figure 3. Yield of large (≥ 50 mm diameter) potato tubers (t ha^{-1}). Means followed by the same letter are not statistically different at the $p \leq 0.05$

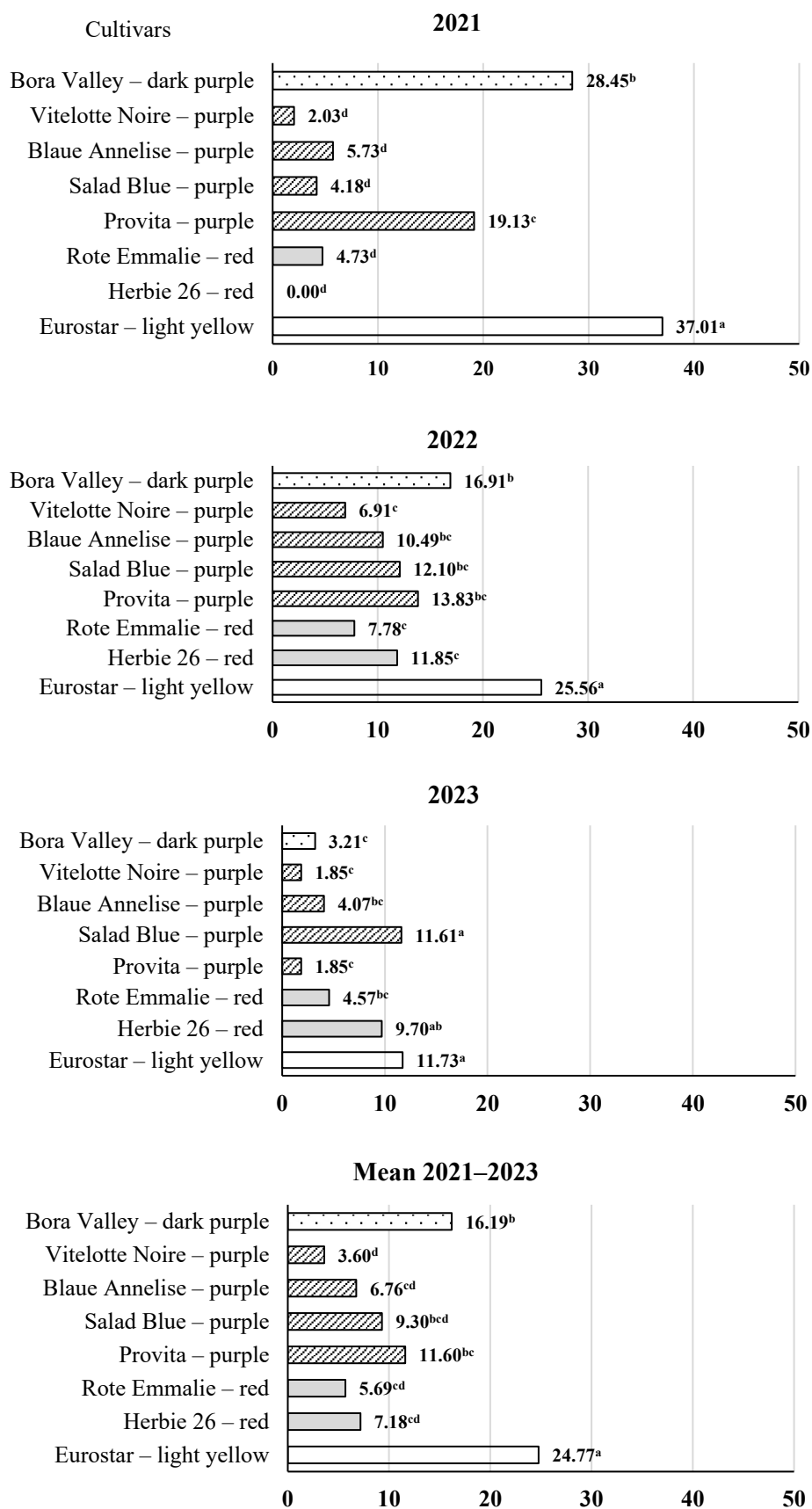


Figure 4. Share of marketable yield (≥ 35 mm diameter) in total yield (%)

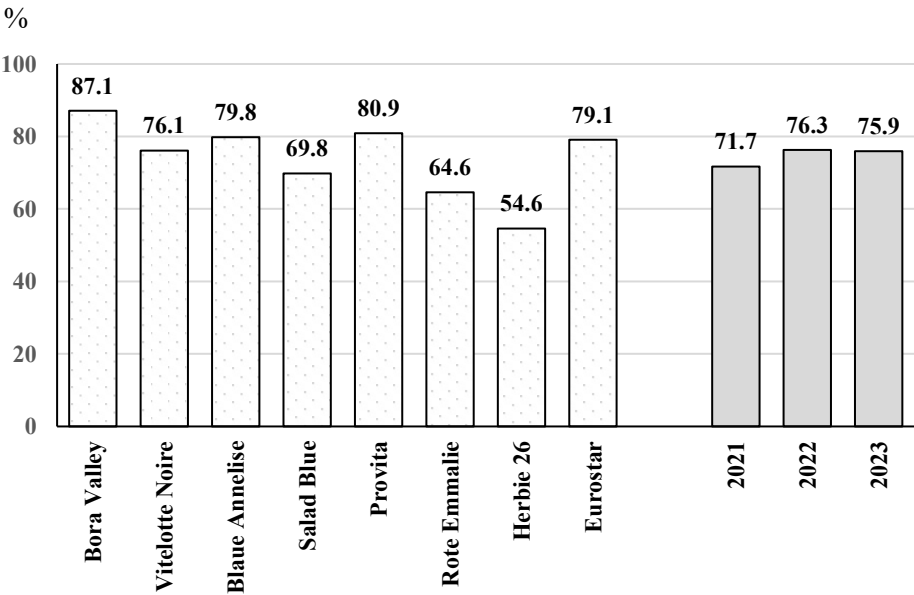
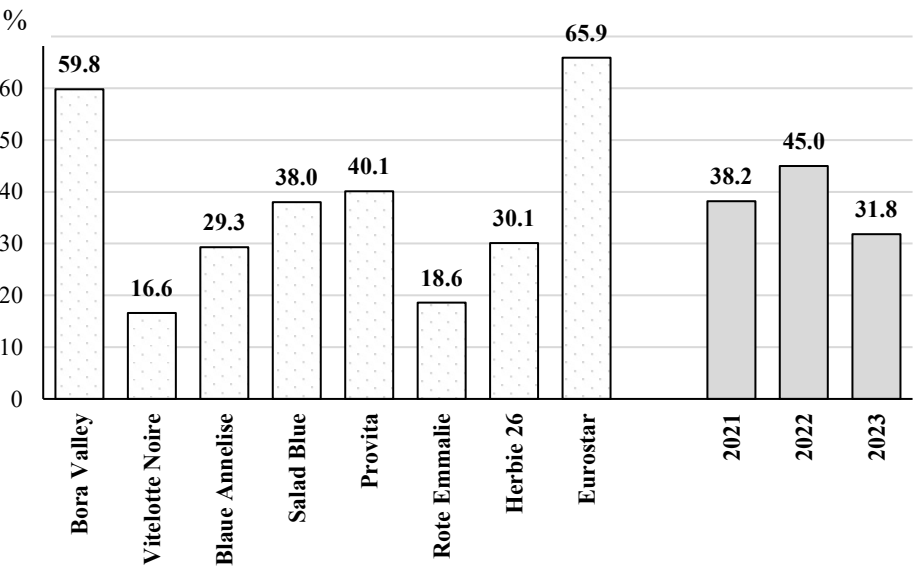


Figure 5. Share of large tuber yield (≥ 50 mm diameter) in total yield (%)



2022, Piotrkowska and Bech 2022]. Coloured-fleshed potato tubers represent a promising raw material for the development of innovative and attractive products rich in functional compounds [Vaitkevičienė et al. 2019, Bravo et al. 2023]. They can be successfully used for cooking, processing and decorating dishes, which will enrich the range of dishes and increase the content of health-promoting compounds in the diet.

CONCLUSIONS

1. Tuber yields – total, marketable, and large tuber – were significantly influenced by the cultivars. Among coloured-fleshed cultivars, the highest average total yields were produced by Rote Emmalie, Provita, and Bora Valley, the highest marketable yields were recorded for Bora Valley, Provita, and Rote

Emmalie, and the highest large tuber yields for Bora Valley and Provita. These results suggest that these cultivars can be recommended for cultivation under Polish conditions.

2. The highest proportions of marketable yield and large tuber yield relative to total yield among coloured-fleshed cultivars were recorded for Bora Valley and Provita.

3. Meteorological conditions during the potato growing season significantly affected tuber yields. In 2021, with precipitation and air temperatures close to the long-term average, tuber yields were the highest, whereas in 2023, classified as very dry, yields were reduced by 43% (total yield), 39% (marketable yield), and 52% (large tuber yield).

REFERENCES

- Bech A., 2020. Hodowla oraz właściwości prozdrowotne ziemniaków o fioletowej barwie miąższu. Biul. IHAR 290(1), 11–14. [In Polish].
- Barbaś P., Noaema A.H., Sawicka B., 2023. Potato (*Solanum tuberosum* L.) as a rich source of nutrients and bioactive compounds: A review. J. Cell Tiss. Res. 23(2), 7337–7355. www.tcrjournals.com [access: 23.03.2026].
- Bravo C., Peña F., Nahuelcura J. et al., 2023. Stability of phenolic compounds, antioxidant activity and color parameters in colored-flesh potato chips. Molecules 28, 6047. <https://doi.org/10.3390/molecules28166047>
- Cima F.F., Pereira E.S., Schiavon M.V. et al., 2020. Bioactive compounds, processing quality and yield of colored flesh potato clones. Hortic. Bras. 38(2), 139–145. <http://doi.org/10.1590/S0102-053620200205>
- Devaux A., Goffart J.P., Kromann P. et al., 2021. The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. Potato Res. 64(4), 681–720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
- Dzwonkowski W., 2024. Rynek ziemniaków w Europie i na świecie. In: Rynek ziemniaka. Stan i perspektywy. Analizy Rynkowe, 51. Institute of Agricultural and Food Economics – National Research Institute, Warsaw, 6–11.
- Eschemback V., Kawakami J., Melo P.E., 2017. Performance of modern and old, European and Brazilian potato cultivars in different environments. Hortic. Bras. 35, 377–384. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170310>
- European Commission, 2023. Common catalogue of varieties of agricultural plant species – Consolidated version 27.01.2023. https://food.ec.europa.eu/document/download/79b91903-aa0f-41cb-92aa-d8ef5481a87d_en?filename=plant-variety-catalogues_agricultural-plant-species.pdf [access: 16.07.2025].
- Ginter A., Zarzecka K., Gugala M. et al., 2024. The impact of the use of biostimulants and herbicide on reducing the occurrence of defects and small tubers in the potato yield. J. Plant Prot. Res. 64(3), 298–306. <https://doi.org/10.24425/jppr.2024.151251>
- Gutiérrez-Quequezana L., Vuorinen A.L., Kallio H. et al., 2020. Impact of cultivar, growth temperature and developmental stage on phenolic compounds and ascorbic acid in purple and yellow potato tubers. Food Chem. 326, 126966. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126966>
- Kita A., Kołodziejczyk M., Michalska-Ciechanowska A. et al., 2022. The effect of thermal treatment on selected properties and content of biologically active compounds in potato crisps. Appl. Sci. 12(2), 555. <https://doi.org/10.3390/app12020555>
- Lal P., Tiwari R.K., Behera B. et al., 2023. Exploring potato seed research: a bibliometric approach towards sustainable food security. Front. Sustain. Food Syst. 7, 1229272. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1229272>
- Lenartowicz T. (ed.), 2025. Lista opisowa odmian ziemniaka. Research Centre for Cultivar Testing, Słupia Wielka, 1–44. [In Polish].
- Nowacki W. (ed.), 2021. Charakterystyka Krajowego Rejestru Odmian Ziemniaka. Plant Breeding Acclimatization Institute – National Research Institute, Section Jadwisin, Poland, 1–44. [In Polish].
- Ortiz R., Reslow F., Huicho J. et al., 2024. Adaptability, stability, and productivity of potato breeding clones and cultivars at high latitudes in Europe. Discov. Life 54(13). <https://doi.org/10.1007/s11084-024-09658-1>
- Peltonen-Sainio P., Sorvalia J., Kaseva J., 2020. Winds of change for farmers: Matches and mismatches between experiences, views and the intention to act. Clim. Risk Manag. 27, 100205. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.100205>
- Piotrkowska A., Bech A., 2022. Nowe odmiany ziemniaka Hodowli Ziemniaka Zamarte. Ziemn. Pol. 2, 10–14. [In Polish].
- Pino M.T., Vergara C., 2021. Red and purple flesh potatoes and healthy and attractive alternative associated with new market trends. In: Yildiz M., Ozgen Y., *Solanum tuberosum* – a promising crop for starvation problem, IntechOpen, 1–16, <https://www.intechopen.com/chapters/77704> [access: 16.07.2025].
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 29 października 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie jakości handlowej ziemniaków [Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development on Detailed Requirements for Commercial Quality of Potatoes]. Dz.U. 2003 nr 194, poz. 1900. [In Polish].
- Rytel E., Tajner-Czopek A., Kita A. et al. The influence of the production process on the anthocyanin content and composition in dried potato cubes, chips, and French fries made from red-fleshed potatoes. Appl. Sci. 11(3), 1104. <https://doi.org/10.3390/app11031104>
- Skowera B., Jędraszczyk E.S., Kopcińska J. et al., 2014. The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes. Pol. J. Environ. Stud. 23(1), 195–202.
- Sroka W., Dudek M., Wojewodziec T. et al., 2019. Generational changes in agriculture: The influence of farm characteristics and socio-economic factors. Agriculture 9(12), 264. <https://doi.org/10.3390/agriculture9120264>

- Trętowski J., Wójcik R., 1991. Methodology of agricultural experiments University of Agriculture and Pedagogy. Siedlce, Poland, 331–334. [In Polish].
- Vaitkevičienė N., Jarienė E., Ingold R. et al., 2019. Effect of biodynamic preparations on the soil biological and agrochemical properties and coloured potato tubers quality. *Open Agric.* 4(1), 17–23. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0002>
- von Gehren P., Bomers S., Tripolt T. et al., 2023. Farmers feel the climate change: Variety choice as an adaptation strategy of European potato farmers. *Climate* 11(9), 189. <https://doi.org/10.3390/cli11090189>
- Winnicki T., Bogucka B., 2018. Economic assessment of the effectiveness of cultivation of edible, purple-flesh potato cv. Blue Congo. *Pol. J. Agron.* 32, 30–36.
- Wójtowicz A., Strażyński P., Mrówczyński M. (eds), 2023. *Metodyka Integrowanej Produkcji Ziemniaka*. 5th ed., Chief Inspectorate of Plant Protection and Seed Inspection, Poznań, Poland, 1–84. [In Polish].
- WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy.
- Zarzecka K., Gugała M., Sikorska A. et al., 2020. Marketable yield of potato and its quantitative parameters after application of herbicides and biostimulants. *Agriculture* 10(2), 49. <https://doi.org/10.3390/agriculture10020049>
- Zarzecka K., Ginter A., Gugała M. et al., 2022. Ziemniak kolorowy – uprawiany wczoraj, dziś i jutro. *Herbalism* 1(8), 130–139. [In Polish].
- Zarzyńska K., Boguszewska-Mańkowska D., Nosalewicz A., 2017. Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. *Plant Soil Environ.* 63(4), 159–164. <https://doi.org/10.17221/4/2017-PSE>
- Zarzyńska K., Trawczyński C., Pietraszko M., 2023. Environmental and agronomical factors limiting differences in potato yielding between organic and conventional production system. *Agriculture* 13(4), 901. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040901>

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

The source of funding: Ministry of Education and Science in Poland, Project No. 248/26/B.

Received: 18.11.2025

Accepted: 16.02.2026

Published: 27.03.2026