

Assessment of the sphericity of a multi-component fertilizer by image analysis using the OpenCV library

Ocena kulistości nawozu wieloskładnikowego metodą analizy obrazu z wykorzystaniem biblioteki OpenCV



DOI: 10.15199/62.2025.7.6

A new method for assessing the sphericity of mineral fertilizer granules using a newly developed image processing computer program was presented. It made it possible to identify the shape and size of fertilizer granules. The perimeter of the granules and their surface area at the pixel level were detd. and the sphericity coeff. of NPK (Mg) fertilizer was calculated. The degree of sphericity of the tested material was high, and the shape of the analyzed granules meant that their alignment during the creation of digital images did not significantly affect the obtained value of the considered coeff.

Keywords: mineral fertilizers, sowing uniformity, digital image analysis

Przedstawiono nową metodę oceny kulistości granул nawozu mineralnego. Napisano program komputerowy służący do przetwarzania obrazów, dzięki któremu rozpoznawano kształt uziarnienia nawozów granulowanych. Wykrywano kontury granул na poziomie pikseli i określano ich obwód oraz pole powierzchni, na podstawie których obliczano współczynnik kulistości. Stwierdzono, że w przypadku nawozu NPK(Mg) stopień kulistości był wysoki, a kształt analizowanych granул sprawiał, że ich ułożenie podczas tworzenia obrazów cyfrowych nie wpływało istotnie na uzyskiwaną wartość rozpatrywanego współczynnika.

Słowa kluczowe: nawozy mineralne, równomierność wysiewu, analiza obrazów cyfrowych

Koncepcja zrównoważonego rolnictwa zakłada dążenie do osiągnięcia równowagi między zaspokajaniem potrzeb ludności w zakresie żywności a ochroną środowiska naturalnego, zdrowiem społeczeństwa oraz opłacalnością ekonomiczną produkcji rolniczej. W praktyce dotyczy to wielu aspektów tej działalności, wśród których wskazać można mające niezwykle istotne znaczenie stosowanie nawozów mineralnych. Stosowanie tego rodzaju nawozów korzystnie wpływa na zwiększanie plonów, a także ich jakość. W przypadku nieodpowiedniego postępowania może to prowadzić do niekorzystnego oddziaływania na same rośliny, a także ich otoczenie. Nadmierne lub długotrwałe nawożenie

powoduje bowiem obniżenie efektywności uprawy, może również prowadzić do spadku wartości odżywczej roślin oraz ograniczenia zdolności do wykorzystywania przez nie nawozów, a także zanieczyszczenia wód gruntowych i środowiska. Istotne jest więc, aby proces nawożenia był zoptymalizowany¹⁻³).

Niewłaściwe nawożenie może być związane nie tylko z doбором nieodpowiedniej dawki lub formy nawozu, ale również z nierównomiernością wysiewu. Wówczas do niektórych miejsc trafia niedostateczna ilość nawozu, co może powodować ograniczenie potencjału plonotwórczego roślin. W innych obszarach dochodzi natomiast do gromadzenia



Dr inż. Wojciech MISZTAL (ORCID: 0000-0001-6214-506X) w roku 2010 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W 2018 uzyskał stopień doktora nauk rolniczych. Jest adiunktem w Katedrze Maszyn Rolniczych, Leśnych i Transportowych w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie. Specjalność – maszyny rolnicze, organizacja i zarządzanie procesami produkcji rolniczej, transport rolniczy.



Dr inż. Norbert LESZCZYŃSKI (ORCID: 0000-0002-5198-8341) w roku 1997 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. W 2005 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych na Wydziale Techniki Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Jest adiunktem w Katedrze Maszyn Rolniczych, Leśnych i Transportowych. Specjalność – maszyny i urządzenia rolnicze, ogrodnictwo i leśne.

* Adres do korespondencji:

Katedra Maszyn Rolniczych Leśnych i Transportowych, Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, tel.: (81) 531-96-55, fax: (81) 531-97-05, e-mail: norbert.leszczyński@up.lublin.pl

się zbyt dużych ilości nawozu (miejscowe przenawożenie) i z powodu ograniczonej możliwości roślin do efektywnego przyswajania może prowadzić do intensyfikacji negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze, a także do uszkodzenia samych roślin.

Nierównomierność wysiewu może mieć swoją przyczynę w konstrukcji wykorzystywanego rozsiewacza, nieodpowiednim ustawieniu parametrów jego pracy lub doborze elementów roboczych^{4, 5}). Może zachodzić również na skutek wpływu niekorzystnych warunków zewnętrznych, a także wynikać z właściwości samego nawozu (kształt, gęstość, rozmiar definiujące opór aerodynamiczny). Granule o kulistym kształcie cechują się stabilnością aerodynamiczną. Ponadto kształt ten zapewnia jednorodność przepływu nawozu w układzie wysiewającym, co niweluje skłonność do powstawania zatorów. Kulistość granul w znacznym stopniu wpływa więc na równomierność wysiewu⁶⁻⁹).

Badanie kulistości granul nawozów z wykorzystaniem mikroskopu cyfrowego¹⁰) jest dość kosztowną metodą z uwagi na koszt urządzenia badawczego. Pomiary tą metodą są też czasochłonne, bo pozwalają na jednoczesny pomiar 1–10 granul w zależności od frakcji nawozu. Odzworowanie konturu granul nie jest tu też idealne. Rodzi się zatem potrzeba poszukania metody szybszej, tańszej i dokładniejszej.

Celem pracy było opracowanie programu komputerowego zdolnego do przetwarzania obrazów, ukierunkowanego na rozpoznawanie, pomiar oraz ocenę stopnia kulistości granul wieloskładnikowego nawozu mineralnego.

Część doświadczalna

Materiał

Przedmiot badań stanowił stały nieorganiczny nawóz wieloskładnikowy Ogród 2001 Uniwersalny, NPK(Mg) o składzie odpowiednio 9,3–5, 5–9, 3(3), z mikroskładnikami pokarmowymi B, Cu, Fe, Mn, Zn, prod. Siarkopol Tarnobrzeg sp. z o.o.

Metodyka badań

Do analizy obrazów wybrano losowo 200 granul nawozu mineralnego z różnych części opakowania jednostkowego. Granule, jednocześnie po 100 sztuk, przyklejano w sposób przypadkowy do przezroczystej taśmy klejącej. W celu wyeliminowania niekorzystnego wpływu zewnętrznych źródeł oświetlenia (np. światła słonecznego) badany materiał umieszczano na podświetlanej tablicy. Następnie wykonywano fotografie cyfrowe granul (w rozdzielczości 4080×3060 px) za pomocą aparatu telefonu komórkowego. Granule obracano o 90° i wykonywano fotografie w drugim rzucie.

Fotografie poddawano następnie dwuwymiarowej analizie obrazów. Opracowano w tym celu program komputerowy, stanowiący narzędzie napisane w języku Python z wykorzystaniem biblioteki do przetwarzania obrazów OpenCV. Schemat logiczny programu przedstawiono na rys. 1. Zgodnie z nim w pierwszej kolejności wczytywano

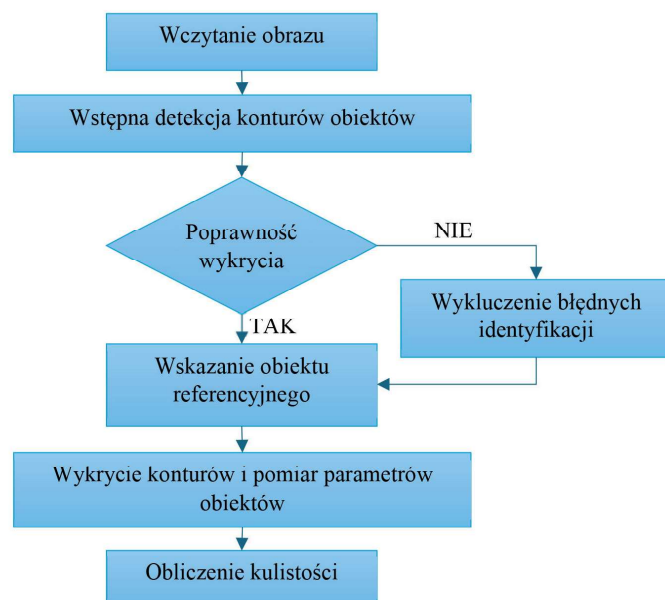


Fig. 1. Logical diagram of the program for analyzing the sphericity of mineral fertilizer granules

Rys. 1. Schemat logiczny programu do analizy kulistości granul nawozu mineralnego

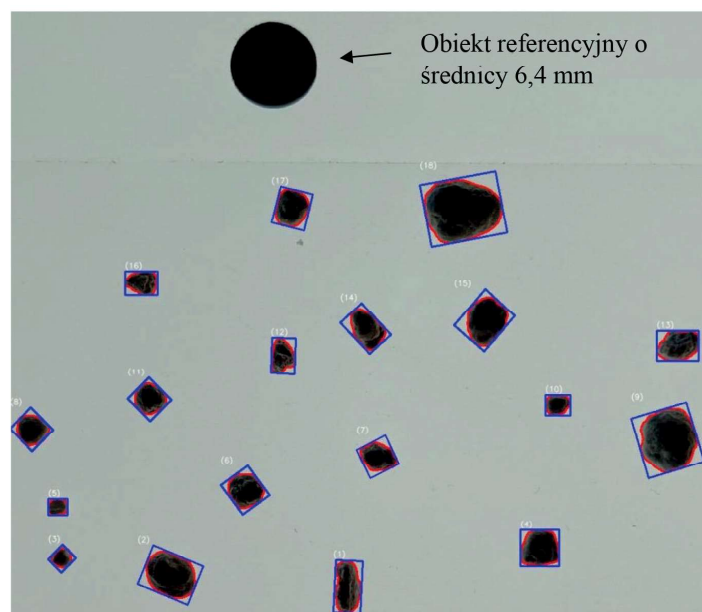


Fig. 2. NPK(Mg) granules recognized by the detection program

Rys. 2. Granule NPK(Mg) rozpoznane przez program detekcyjny

analizowany obraz (rys. 2). Wstępne wykrycie konturów obiektów (granul) prowadzono przez konwersję z przestrzeni barw BGR do skali szarości za pomocą funkcji cvtColor. Detekcję krawędzi obiektów (wykrycie miejsc o gwałtownej zmianie jasności) przeprowadzono funkcją Canny, a następnie wykrycie konturów tych obiektów funkcją findContours. Wysoka wrażliwość mechanizmu rozpoznawania krawędzi sprawiała, że program mógł identyfikować jako obiekty badawcze również zanieczyszczenia (np. pyliste frakcje nawozu i zarysowania na podświetlanej tablicy). Zaimplementowano więc funkcjonalność umożliwiającą oznaczanie i wykluczanie tego typu wskazań z dalszego rozważania. Za pomocą

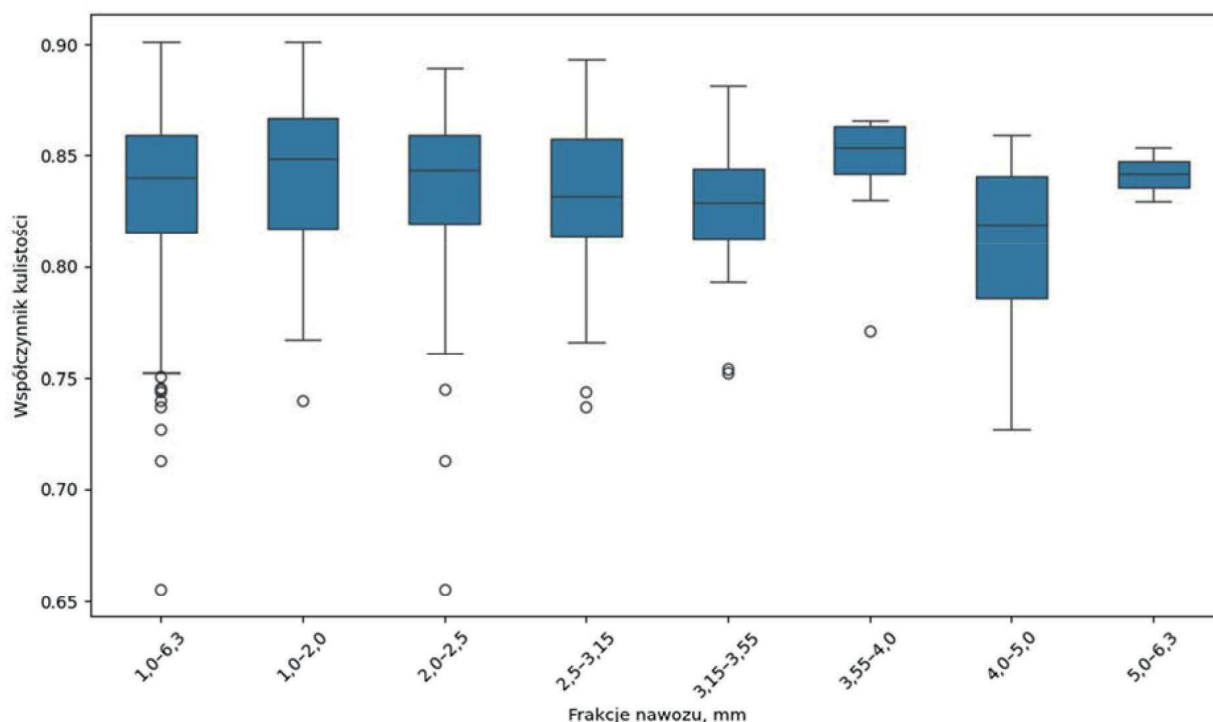


Fig. 3. Sphericity of NPK(Mg) fertilizer granules

Rys. 3. Kulistość granul nawozu NPK (Mg)

programu mierzono parametry granul na poziomie pikseli. Dla dokładnego odwzorowania wymiarów rzeczywistych, czyli wyskalowania fotografii, wprowadzono obiekt referencyjny – koło o średnicy 10 mm. Ostatecznie za pomocą tego programu wyznaczano kulistość granul (rys. 2).

Obliczenia współczynnika kulistości C przeprowadzono z wykorzystaniem metody Coxa (*roundness index*), w przypadku której zastosowanie znajduje wzór (1):

$$C = \frac{4\pi \cdot A}{P^2} \quad (1)$$

w którym A oznacza powierzchnię przekroju granuli, mm^2 , a P rzeczywisty obwód granuli, mm .

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Przeprowadzono ocenę istotności różnic pomiędzy pomi-

rami wykonanymi w poszczególnych rzutach. W tym celu w pierwszej kolejności przeprowadzono test Shapiro i Wilka pozwalający ocenić, czy dane mają rozkład normalny. Determinuje to bowiem dobór testu umożliwiającego analizę istotności różnic pomiędzy tymi pomiarami (test t dla par zależnych w przypadku spełnienia założeń o normalności rozkładu oraz test Wilcoxona w przeciwnym razie). Przeprowadzono również test Kruskala i Wallisa oraz test *post-hoc* Dunna w celu określenia istotności różnic pomiędzy poszczególnymi frakcjami granul.

Wyniki badań

Test normalności Shapiro i Wilka dla różnic pomiędzy pomiarami kulistości granul NPK(Mg) wykonany-

Table. Descriptive statistics of the sphericity index of mineral fertilizer granules

Tabela. Statystyki opisowe współczynnika kulistości granul nawozu mineralnego

Frakcje nawozu, mm	Minimum	Dolna granica wartości odstających	Kwartył 1	Mediana	Kwartył 3	Maksimum*	Odczylenie standardowe	Liczba wartości odstających
1,0–6,3	0,656	0,752	0,816	0,840	0,859	0,901	0,036	9
1,0–2,0	0,740	0,767	0,817	0,848	0,867	0,901	0,035	1
2,0–2,5	0,656	0,761	0,819	0,843	0,859	0,890	0,042	3
2,5–3,15	0,737	0,767	0,813	0,832	0,858	0,893	0,034	2
3,15–3,55	0,752	0,793	0,812	0,829	0,844	0,881	0,033	2
3,55–4,0	0,771	0,830	0,842	0,854	0,863	0,866	0,032	1
4,0–5,0	0,727	0,727	0,786	0,819	0,841	0,859	0,040	0
5,0–6,3	0,829	0,829	0,836	0,842	0,848	0,854	0,017	0

* Wartości maksymalne są równe górnej granicy dla obserwacji odstających, ponieważ żadne dane jej nie przekraczają

mi w poszczególnych rzutach dał wynik $p = 2,65 \cdot 10^{-6}$, co wskazuje na brak normalności tego rozkładu. Ponieważ test nieparametryczny Wilcozona wykazał brak istotnej statystycznie różnicy pomiędzy pomiarami wykonanymi w poszczególnych rzutach ($p = 0,984$), dalszej analizie poddano uśrednione ich wartości. Test Kruskala i Wallisa wykazał istotność statystyczną ($p = 0,017$) różnic pomiędzy co najmniej 2 frakcjami granul. Przeprowadzony test *post-hoc* Dunna z korektą Bonferroni wykazał istotność różnic statystycznych między medianami kulistości dla frakcji 1,0–2,0 oraz 5,0–6,3.

Na podstawie danych dotyczących uśrednionych wartości dla obydwu rzutów (tabela, rys. 3) można stwierdzić, że granule analizowanego nawozu mineralnego cechowały się wysokim stopniem kulistości, gdyż dla 75% granul ich współczynnik kulistości mieścił się w przedziale 0,816–0,901, a mediana wynosiła 0,840. Dla pozostałych 25% granul otrzymano niższe wartości (0,752–0,816). Odchylenie standardowe wyniosło 0,036, dodatkowo wystąpiło 9 wartości odstających. Kształt analizowanych granul był więc zróżnicowany, niekiedy wyraźnie odbiegający od kulistego.

Frakcja 1,0–2,0 cechowała się ogólnie dużą kulistością, wartość tego współczynnika w przypadku 75% granul mieściła się w zakresie 0,817–0,901, a mediana wynosiła 0,848. Frakcję tę charakteryzował dość szeroki zakres rozrzutu wartości analizowanego współczynnika (0,767–0,901), a odchylenie standardowe wynosiło 0,035. Wystąpiła również wartość odstająca (0,74). Granule tworzące tę frakcję miały więc zróżnicowany kształt, często odbiegający od kulistego.

Kulistość granul należących do frakcji 2,0–2,5 była ogólnie duża. Wartości rozpatrywanego współczynnika dla 75% granul mieściły się w zakresie 0,819–0,890, a mediana wynosiła 0,843. Frakcja ta odznaczała się również dość dużym zróżnicowaniem kształtu granul, rozrzut danych zawierał się bowiem w przedziale 0,761–0,890, a odchylenie standardowe wynosiło 0,042. Występowały również 3 wartości odstające (0,656; 0,713 oraz 0,745). W tej frakcji, poza granulami sferycznymi, znajdowały się też podłużne.

W przypadku frakcji 2,5–3,15 współczynnik kulistości 75% granul mieścił się w zakresie 0,813–0,893, a mediana wynosiła 0,832. Granule cechowały się więc dość dużą kulistością. Rozrzut wartości analizowanego współczynnika był w zakresie 0,767–0,893, a odchylenie standardowe wyniosło 0,034. Dodatkowo występowały 2 wartości odstające (0,737 i 0,744). Kształt granul w tej frakcji był więc dość zróżnicowany.

Granule tworzące frakcję 3,15–3,55 charakteryzowały się dość wysokim stopniem kulistości (75% w przedziale 0,812–0,881, mediana 0,829). Frakcja ta cechowała się dodatkowo stosunkowo niewielkim rozrzutem wartości rozpatrywanego współczynnika (0,793–0,881). Ogólny kształt granul zdawał się być więc zbliżony, przy czym obecność 2 wartości odstających (0,752 i 0,754) wskazywała, że we frakcji tej mogły pojawiać się również granule wydłużone.

Frakcja 3,55–4,0 odznaczała się dużą kulistością (mediana 0,854). Dodatkowo granule cechowały się jednorodnością kształtu (zakres rozrzutu wartości analizowanego współczynnika wynosił 0,830–0,866). We frakcji tej obecna była również 1 wartość znacznie odstająca (0,771).

Granule formujące frakcję 4,0–5,0 cechowały się dość dużą ogólną kulistością. W przypadku 75% z nich wartość rozpatrywanego współczynnika mieściła się w przedziale 0,786–0,859, a mediana wynosiła 0,819. Pozostałe granule cechowały się kulistością w przedziale 0,727–0,786. Kształt granul w tej frakcji był więc dość zróżnicowany.

Frakcja 5,0–6,3 cechowała się dość wysokim stopniem kulistości. Wprawdzie mediana kształtowała się na poziomie 0,842, ale wartość współczynnika kulistości w tej frakcji nie przekraczała 0,854. W przypadku 75% granul mieściła się w przedziale 0,836–0,854. Frakcję tą cechowała duża jednorodność kształtu granul (odchylenie standardowe wynosiło 0,017).

Podsumowanie

Ocenę kulistości nawozu granulowanego z powodzeniem można przeprowadzać metodą analizy obrazu z wykorzystaniem biblioteki OpenCV. Metoda ta daje wysoki poziom odwzorowania konturów rozpoznawanych granul na fotografii i pozwala na uzyskanie dokładnych obliczeń obwodu oraz powierzchni badanych obiektów, a co za tym idzie na jednoznaczne określenie współczynnika kulistości.

Badany nawóz NPK(Mg) charakteryzuje się wysokim stopniem kulistości (mediana 0,84). W przypadku większości (75%) granul ich kształt jest jednorodny, zbliżony do kulistego. Pozostała część badanego nawozu cechuje się nieznacznie większym zróżnicowaniem kształtu, jego granule są bardziej wydłużone, przy czym z reguły wartość współczynnika kulistości w ich przypadku nie jest mniejsza niż 0,752.

Otrzymano: 23-06-2025

Zrecenzowano: 04-07-2025

Zaakceptowano: 07-07-2025

Opublikowano: 18-07-2025

LITERATURA

- [1] M. Ishfaq, Y. Wang, J. Xu, M.U. Hassan, H. Yuan, L. Liu, X. Li, *Agron. Sustain. Dev.* 2023, **43**, nr 6, 74.
- [2] S. Lei, S. Raza, A. Irshad, Y. Jiang, A.S. Elrys, Z. Chen, J. Zhou, *Eur. J. Agron.* 2025, **164**, 127513.
- [3] S. Yang, H. Chen, Z. Li, Y. Ruan, Q. Yang, *Environ. Sci. Eur.* 2024, **36**, nr 1, 188.
- [4] G.G. Zimmermann, S.P. Jasper, D. Savi, F.G. Moreno, *Cienc. Rural.* 2024, **54**, nr 6, e20220358.
- [5] W. Xu, Q. Yuan, J. Zeng, X. Lyu, *Appl. Sci.* 2024, **14**, nr 7, 3059.
- [6] J.T. Walker, T.E. Grift, J.W. Hofstee, *Trans. ASAE* 1997, **40**, nr 1, 21.
- [7] R.K. Thaper, J.P. Fulton, T.P. McDonald, O.O. Fasina, *Precision Agric.* 2022, **23**, 83.
- [8] J. Fulton, K. Port, *Physical properties of granular fertilizers and impact on spreading*, FABE-550.1, Ohio State University 2016 r.
- [9] T.T. Le, E. Piron, D. Miclet, S. Villette, *Comput. Electron. Agric.* 2025, **229**, 109753.
- [10] N. Leszczyński, A. Węgrzyn, S. Kocira, A. Szparaga, J. Zarajczyk, *Przem. Chem.* 2018, **97**, nr 4, 639.