

## STRESZCZENIE

Wzrost uprzemysłowienia gospodarek wschodzących i utrzymujący się wysoki poziom zużycia materiałów w krajach wysoko rozwiniętych sprawiły, że w ostatnich dziesięcioleciach obserwowany był bezprecedensowy wzrost popytu na surowce. Zwróciło to uwagę na kwestie związane z zasobooszczędnością, w tym na politykę gospodarowania odpadami i materiałami, czego efektem jest promowanie paradygmatu gospodarki obiegu zamkniętego (*circular economy*). Założenia gospodarki obiegu zamkniętego rozszerzają konwencjonalne podejście do utylizacji i recyklingu odpadów oraz produktów ubocznych, kładąc nacisk na wykorzystanie wartości materiałów. Najlepszym rozwiązaniem w ramach gospodarki obiegu zamkniętego jest wykorzystanie cykli przyrody do konwersji materiałów, energii i składników odżywczych do użytku gospodarczego.

W pracy oceniano właściwości i potencjał plonotwórczy karbońskich odpadów wydobywczych oraz możliwość ich wykorzystania do wytworzenia mieszanin, które mogłyby pełnić rolę samodzielnego podłoża do wzrostu i rozwoju roślin lub być wykorzystane jako „środek” użyźniający.

Badania przeprowadzono w ścisłym doświadczeniu wazonowym. W pierwszej części doświadczenia oceniano właściwości i potencjał plonotwórczy podłoży, które stanowiły karbońskie odpady wydobywcze oraz ich mieszaniny ze zróżnicowanym udziałem komunalnego osadu ściekowego (2,5 i 5,0%) i poużytkowej wełny mineralnej z upraw pod osłonami (1%) pod kątem ich przydatności do wytwarzania okrywy biologicznej na składowiskach różnych odpadów oraz rekultywacji i odbudowy gleb na terenach przemysłowych; w drugiej części oceniano możliwość wykorzystania otrzymanych mieszanin do użyźniania zdegradowanej gleby antropogenicznej. Doświadczenie realizowano przez 2 sezony wegetacyjne, uprawiając kolejno gorczycę białą i kukurydzę.

Badania laboratoryjne obejmowały oznaczenie właściwości, mających znaczenie w kształtowaniu żyzności gleb (odczyn, właściwości sorpcyjne, zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego, przyswajalnych form P, K i Mg) oraz zawartości metali ciężkich, baru i jego form. Oceniano plonowanie roślin, oznaczono zawartość metali ciężkich i baru w biomacie roślin oraz wyznaczono wskaźniki ich bioakumulacji.

Uzyskane wyniki potwierdziły hipotezę że karbońskie odpady wydobywcze zapewniają minimalne warunki dla wzrostu roślin. Niski potencjał plonotwórczy tych odpadów, przy jednocześnie dobrych, ale nie zbilansowanych właściwościach nawozowych potwierdził

potrzebę optymalizacji ich właściwości. Jakość podłoży była ściśle związana z udziałem osadu ściekowego w mieszaninach i modyfikowana przez dodatek wełny mineralnej. Lepszymi właściwościami i większym potencjałem plonotwórczym charakteryzowały się podłoża z 5 % udziałem osadu ściekowego, a uzupełnienie składu podłoży o 1% dodatek wełny mineralnej zwiększał ich skuteczność nawozową. Karbońskie odpady wydobywcze wprowadzone, jako środek użyźniający do gleby zdegradowanej, samodzielnie oraz jako mieszaniny z osadem ściekowym i wełną mineralną, wpłynęły na poprawę właściwości gleby i jej potencjału plonotwórczego. Zakres tych zmian był skorelowany ze składem mieszanin. Najlepsze efekty użyźnienia zdegradowanej gleby antropogenicznej uzyskano po wprowadzeniu do gleby mieszaniny karbońskich odpadów wydobywczych z 5 % udziałem komunalnego osadu ściekowego.

Oceniane właściwości, a szczególnie wskaźniki bioakumulacji metali ciężkich w roślinach mogą być skutecznym narzędziem warunkującym bezpieczne wykorzystanie odpadów do nawożenia i rekultywacji gleb

Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania mieszanin na bazie odpadów wydobywczych do: wykonania okrywy biologicznej na składowiskach różnych odpadów, rekultywacji i odbudowy gleb na terenach przemysłowych i zurbanizowanych oraz kształtowania właściwości gleb marginalnych. Taki sposób zagospodarowania karbońskich odpadów wydobywczych i odpadów optymalizujących ich właściwości może być skuteczną strategią w ramach gospodarki obiegu zamkniętego a jednocześnie zwiększy efektywność zarządzania glebami zdegradowanymi i słabej jakości.

**Słowa kluczowe:** karbońskie odpady wydobywcze, osad ściekowy, gospodarka odpadami, rekultywacja i nawożenie gleb, właściwości gleb, plonowanie roślin, wskaźniki bioakumulacji

## SUMMARY

The increase in industrialization in emerging economies and the persistently high level of material consumption in highly developed countries have resulted in an unprecedented increase in demand for raw materials in recent decades. It drew attention to issues related to saving resources, including the waste and materials management policy, which resulted in the promotion of the circular economy paradigm. The principles of the circular economy extend the conventional approach to treating and recycling waste and by-products, emphasizing the use of the value of materials. The best solution in a circular economy is to use nature's cycles to convert materials, energy, and nutrients for economical use.

The study assessed the properties and yield potential of Carboniferous mining waste and the possibility of using them to produce mixtures that could act as an independent substrate for plant growth and development or be used as a fertilizer.

The research was carried out in a strict pot experiment. In the first part of the experiment, the properties and yield potential of the substrates were assessed, which were Carboniferous mining waste and their mixtures with a varied share of municipal sewage sludge (2.5 and 5.0%) and post-consumer mineral wool from crops under cover (1%) in terms of their suitability for the production of biological cover in landfills of various types of waste as well as soil reclamation and reconstruction in post-industrial areas; in the second part, the possibility of using the obtained mixtures for fertilization of degraded anthropogenic soil was assessed. The experiment was carried out for two growing seasons, growing white mustard and maize.

Laboratory tests included the determination of properties essential for the development of soil fertility (reaction, sorption properties, content of organic carbon, total nitrogen, available P, K, and Mg forms) and the content of heavy metals, barium, and its forms. Plant yielding was assessed, the content of heavy metals and barium in plant biomass was determined, and indicators of their bioaccumulation were determined.

The obtained results confirmed the hypothesis that Carboniferous mining waste provides minimal conditions for plant growth. The low yield potential of this waste, with good but not balanced fertilization properties, confirmed the need to optimize its properties. The quality of the substrates was closely related to the share of sewage sludge in the mixtures and was modified by adding mineral wool. The substrates with a 5% share of sewage sludge had better properties and higher yielding potential, and supplementing the composition of the substrates with a 1% addition of mineral wool increased their fertilizing efficiency.

Carboniferous mining waste introduced as a fertilizer to degraded soil, alone and as mixtures with sewage sludge and mineral wool, improved soil properties and yielding potential. The extent of these changes was correlated with the composition of the mixtures. The best effects of fertilization of degraded anthropogenic soil were obtained after introducing a mixture of Carboniferous mining waste with a 5% share of municipal sewage sludge into the soil.

The assessed properties, and in particular indicators of bioaccumulation of heavy metals in plants, may be an effective tool for the safe use of waste for fertilization and soil reclamation.

The obtained results indicate the possibility of using mixtures based on mining waste to make biological cover in landfills of various types of waste, reclamation, and reconstruction in post-industrial and urbanized areas and shape the properties of marginal soils. This method of managing Carboniferous mining wastes and optimizing their properties may be an effective strategy within the closed-loop economy. At the same time, it will increase the efficiency of the management of degraded and poor-quality soils.

**Keywords:** Carboniferous mining waste, sewage sludge, waste management, soil reclamation and fertilization, soil properties, plant yielding, bioaccumulation indicators