

KRYTERIA PRZYDATNOŚCI OSADÓW ŚCIEKOWYCH DO CELÓW ROLNICZYCH

Jednym z racjonalnych sposobów unieszkodliwiania osadów ściekowych jest ich wykorzystanie w rolnictwie. Związki organiczne, substancje NPK i mikroelementy czynią osady użytecznym materiałem nawozowym. Porównawcze analizy składu i dotychczasowe doświadczenia sugerują wyraźne podobieństwo osadów do obornika (Pallash, 1964) i stąd też osad stosowany jest często jako zastępczy nawóz ogrodniczy.

Rolnicze systemy utylizacji osadów ściekowych wymagają spełnienia określonych warunków, gwarantujących najmniejszą szkodliwość dla środowiska, a w szczególności dla zdrowia ludzi. Jednym z najistotniejszych warunków jest limitowany poziom nawożenia pól osadem ściekowym z jednoczesnym wykorzystaniem tego ładunku nawozowego, jaki one zawierają.

Przyjęcie takiego warunku za najważniejszy wymaga opracowania określonego kryterium oceny przydatności i stosowania osadów na pola. Z uwagi na znaczną zmienność charakterystyki osadów i różnorodność warunków ich utylizacji brak jest dotychczas jednoznacznego kryterium, spełniającego możliwość uwzględnienia większości wymagań, gwarantujących określony poziom czystości środowiska. Istnieje natomiast szereg sugestii i propozycji kryteriów, uwzględniających różnorodne aspekty rolniczego wykorzystania osadów. Poniżej podano krótką charakterystykę istotniejszych propozycji, podawanych przez różne źródła literaturowe i na tym tle zaprezentowano ten punkt widzenia, który wynika zarówno z własnych badań jak i z aktualnego poziomu rozpoznania problematyki osadowej w kraju (Cebula, 1980).

Rodzaje kryteriów

Wyróżnia się dwie grupy kryteriów:

— kryteria podstawowe, przyjmujące jako główny czynnik determinujący dawkę osadów i możliwości ich stosowania; obecność i poziom występowania elementów śladowych w osadach;

— kryteria dodatkowe, uwzględniające aspekt sanitarny i warunki lokalne.

Do kryteriów podstawowych, uwzględniających obecność elementów śladowych należą:

- kryterium azotowe,
- kryterium fosforowe,
- kryterium elementów śladowych.

Pozostałymi warunkami, które wymagają spełnienia są:

- kryterium higieniczno-sanitarne,
- kryterium terenów i gleb oraz
- kryterium roślin i upraw.

Omówiono w kolejności zasady i zakresy stosowania poszczególnych kryteriów, podkreślając jednocześnie gradację ich ważności i praktyczny aspekt ich wykorzystania.

Jeżeli osady nie zawierają znacznych ilości metali ciężkich, to sugeruje się [3], aby dawkę osadu określać w oparciu o kryterium azotowe i fosforowe. W przypadku podwyższonej obecności elementów śladowych (ogranicza się ten warunek do określonej tylko grupy elementów), a także przy założeniu, że osady ściekowe są zasadniczo tylko źródłem substancji organicznej, podstawowym czynnikiem, limitującym dawkę pozostaje kryterium elementów śladowych. Pozostałe, dodatkowe kryteria obowiązują równocześnie z kryterium podstawowym i traktowane są jako działania zwiększające współczynnik bezpieczeństwa dla środowiska i jego użytkowników.

Kryterium azotowe

Azot jest substancją nawozową, której niedobór lub nadmiar powoduje najwyraźniejszą reakcję rośliny. Żaden ze składników nie jest pobierany przez rośliny tak energicznie [5]. W typowych osadach ścieków miejskich azot znajduje się na ogół w znacznych ilościach (5—125 mg N/g s.m.) w porównaniu do obornika (0,4—29,4 mg N/g s.m.). W osadach przefermentowanych pewne części azotu (ok. 30%) występują w formie przyswajalnej, co znacznie podwyższa rolniczą przydatność osadów.

Biorąc pod uwagę powyższe cechy osadów jak i istotną dla roślin rolę azotu sugeruje się [3] przyjęcie kryterium azotowego, jako jednego z ważniejszych kryteriów w określaniu poziomu nawożenia osadem.

Stosowanie nawożenia pól w oparciu o kryterium potrzeb azotowych roślin jest równocześnie w większości przypadków zabezpieczeniem się przed toksycznym oddziaływaniem elementów śladowych, za wyjątkiem jednakże osadów zawierających podwyższone stężenie elementów.

W przypadku wielokrotnego nawożenia pól takim osadem wystąpić może zjawisko kumulacji elementów powyżej tolerowanego poziomu stężeń. Poza tym znacznym ograniczeniem pełnej przydatności kryterium azotowego brak jest dostatecznej informacji o formie występowania azotu w osadach i znacznej zmienności obserwowanych stężeń.

W osadach azot występuje w większości w formie organicznej [3] i nie jest on w tej formie bezpośrednio przyswajalny przez rośliny. Szybkość procesu mineralizacji azotu w glebie zależy od szeregu czynników, m. in. zawartości wody, odczynu pH, temperatury i poziomu azotu w glebie.

Dotychczas brak jest dostatecznej informacji i wyników doświadczeń, określających stopień i szybkość mineralizacji w glebie związków azotowych pochodzenia osadowego. Szacunkowo oblicza się [5], że w ciągu pierwszego roku następuje mineralizacja 15—40% wprowadzonego do gleby azotu organicznego, w następnych latach zmniejsza się szybkość rozkładu azotu. Wg innych źródeł [10] wynika, że w ciągu pierwszego roku uzyskuje się ok. 15% azotu przyswajalnego, w drugim 6% pozostałego azotu organicznego, w trzecim — 4%, a w czwartym 2%. Stosując powyższe kryterium ustala się, że wielkość dawki osadów z uwagi na potrzeby azotowe wielu upraw waha się w granicach od 5—40 t/ha · rok.

Innym jeszcze mankamentem, obniżającym przydatność tego kryterium są częściowe straty azotu w okresie nawożenia. Najbardziej widoczne to jest w przypadku stosowania na polu osadu w formie płynnej. Wielkość strat jest trudna do ustalenia; jest zmienna, zależna od rodzaju osadu, jego słasności i warunków środowiskowych. Ocenia się szacunkowo [3], że wielkość tych strat utrzymywać się może w granicach od 30% do całkowitego ubytku. Zmniejszenie wielkości strat można uzyskać przez wprowadzenie osadu pod powierzchnię gleby lub natychmiastowe zaorywanie.

Jak wynika z powyższych obserwacji założenia wyjściowe do stosowania kryterium azotowego są zbyt mało jednoznaczne, stąd też samo kryterium posiada większe znaczenie teoretyczne, aniżeli przydatność praktyczną.

Kryterium fosforowe

Osady zawierają na ogół od 3 do 35 mg P_2O_5 /g s.m. fosforu. Przy nawożeniu osadem wg kryterium azotowego wprowadza się do gleby fosfor w ilościach większych aniżeli wynika to z potrzeb nawozowych wielu upraw, a zatem efektywniejsze byłoby gospodarowanie wg kryterium fosforowego [3]. Ten sposób spowodowałby jednakże znaczne obniżenie dawki osadu ok. 1—2 ton/ha, co wiązałoby się ze znaczną podwyżką kosztów nawożenia. Stosowanie kryterium fosforowego zmniejsza oczywiście dodatki metali, ale z kolei konieczne byłoby wzbogacanie osadów sztucznymi nawozami azotowymi.

Kryterium elementów śladowych

Wrażliwość roślin na określone stężenie elementów śladowych jest zmienna, zależy ona od rodzaju roślin a także od chemicznych i fizycznych właściwości gleby.

W zakresie kryterium elementów śladowych istnieje szereg propozycji i sposobów obliczenia dopuszczalnego ładunku tych substancji. Z ważniejszych i bardziej znanych metod wymienić można:

- równoważnik cynkowy i
- równoważnik kadmowo-cynkowy.

Dopuszczalny ładunek metali określany jest czasami na podstawie założenia, że metale będą uwalniane do form przyswajalnych przez rośliny w miarę mineralizacji substancji organicznej. Brak jednakże dowodów na poparcie tego bardzo przekonującego założenia. Przeprowadzone ostatnio badania [6] wykazały, że w kolejnych uprawach stwierdzono obecność metali mimo, że substancja organiczna, pochodząca z osadu, uległa całkowitemu rozłożeniu. Zjawisko to tłumaczono tym, że stabilizacja wywołana przemianami nieorganicznymi przebiega szybciej aniżeli uwalnianie się metali z mineralizującej się substancji organicznej.

Podaje się również innego rodzaju propozycje kontroli nawożenia osadem, a mianowicie wiąże się ładunek maksymalny ze zdolnością jonowymienną gleby [7].

Kryterium oparte na równoważniku cynkowym uwzględnia założenie, że toksyczność miedzi i niklu można wyrazić uwielokrotnioną wielkością cynku, że toksyczność tych trzech elementów jest addytywna [8].

Koncepcję równoważnika cynkowego oparto na pewnej ograniczonej liczbie obserwacji. Dalsze badania wykazały, że toksyczność tych trzech elementów nie jest addytywna, a zatem stosowanie tego kryterium nie uwzględnia w pełni ilości metali pochodzenia osadowego, które mogą być bezpiecznie wprowadzone do gleby [3]. Ponadto równoważnik ten nie ma uniwersalnego stosowania do tak różnorodnych rodzajów roślin czy upraw.

Sugeruje się także [3], że wielkość dawki osadu może być limitowana także określonym stosunkiem kadmu do cynku w osadzie.

Koncepcja tego kryterium opiera się na dwóch przesłankach: po pierwsze stosunek kadmu do cynku w skale rodzimej wynosi średnio jak 1 : 500, a w glebach 1 : 100, co oznacza, że podczas wietrzenia skał ubytek kadmu był powolniejszy niż cynku. Po drugie norma oparta na stosunku kadmu do cynku dawałaby gwarancję, że przy dostatecznie wysokiej koncentracji cynku, niszczącej już rośliny nie następowałoby jeszcze akumulowanie się kadmu do poziomu uważanego za szkodliwy dla zwierząt i ludzi.

Różnorodność zasad dotychczasowego formułowania kryterium elementów śladowych jak również niejednoznacznie określono założenia wstępne ograniczając możliwość szerszego i

praktycznego stosowania dotychczasowych sposobów obliczeniowych.

W oparciu o własne doświadczenia, poparte wieloma dyskusjami w gronie fachowców z zakresu utylizacji osadów i rolniczej ich przydatności sugeruje się, aby zasadniczym i podstawowym kryterium stosowania osadów było przyjęcie i zachowanie określonego, tolerowanego poziomu występowania elementów śladowych w glebie. Warunek limitowania stężeń ograniczać się powinien do tych elementów, które typowane są do grupy o dużym zagrożeniu dla środowiska, a mianowicie: CYNK, CHROM, OŁÓW, MIEDŹ, NIKIEL i KADM [2]. Wieloletnie doświadczenia i badania eksperymentalne wykazały, że ustalić można określone, tolerowane górne poziomy stężeń tych elementów w glebach, które z jednej strony stwarzają wymagane warunki prawidłowego wzrostu roślin a z drugiej zabezpieczają środowisko przed budzącym zastrzeżenia zanieczyszczeniem [2]. Poziomy nawożenia gleb osadami powinny być tak ustalone, aby tolerowany poziom występowania elementów w glebie mógł być osiągnięty w wyniku kumulacji, w stosunkowo długim okresie czasu, np. 20 lub 30 lat. Po tym okresie następowałaby rotacja terenów i ewentualna korekta poziomów nawożenia.

Przy powyższych założeniach wielkość dawki nawożeniowej osadu obliczać można ze wzoru:

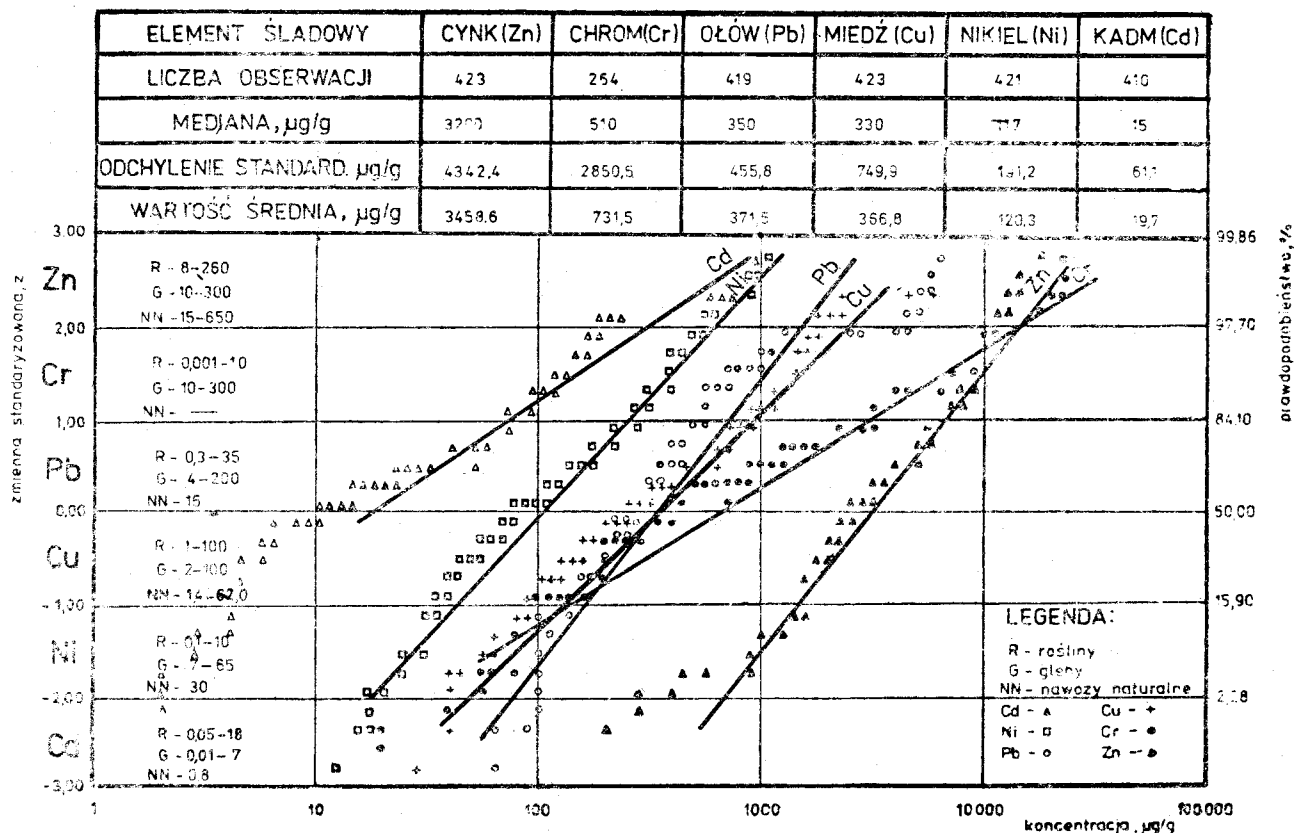
$$L_o = \frac{(E_{gz} - E_g) \cdot 4,2 \cdot 10^3}{n \cdot E_o} \text{ (t/ha} \cdot \text{rok)}$$

gdzie:

- E_{gz} — tolerowany poziom występowania danego elementu śladowego w glebie, w $\mu\text{g/g}$
- E_g — aktualny poziom występowania danego elementu śladowego w glebie, w $\mu\text{g/g}$
- n — okres nawożenia osadem do czasu osiągnięcia poziomu tolerowanego
- E_o — aktualny poziom występowania danego elementu śladowego w osadach, w $\mu\text{g/g}$

Przy przyjęciu powyższych założeń przeprowadzono przykładowe obliczenia poziomu nawożenia w oparciu o własne wyniki badań [2]. Obliczenia wykonano dla charakterystycznych średnich wartości stężeń 6-ciu wytypowanych elementów śladowych w osadach komunalnych w Polsce (rys. 1). Wyniki obliczeń (tab. 1) wskazują, że zmienna jest wielkość dawki osadu w $\text{t/ha} \cdot \text{rok}$. Przy cykliczności 20-letniej wahają się od 17 do prawie 150 $\text{t/ha} \cdot \text{rok}$. Z wydłużeniem się okresu nawożenia do 40 lat wielkość dawki spada do granic 8,3—74,2 $\text{t/ha} \cdot \text{rok}$. Elementem śladowym, najbardziej limitującym wielkość dawki osadu okazuje się, przy przyjętych założeniach wstępnych, cynk; drugim z kolei jest chrom, a dalej kadm i ołów; miedź i nikiel stwarzają znacznie korzystniejsze warunki utylizacji osadów.

Biorąc pod uwagę własności chemiczne poszczególnych elementów, potencjalną ich toksyczność dla środowiska [1] oraz obserwowane stężenie w badanych osadach [2] uzasadnionym



Rys. 1 Okresowość występowania elementów śladowych w osadach z miejskich oczyszczalni ścieków (grupa I).

Tabela 1
PRZYKŁADOWE OBLICZENIE POZIOMU NAWOŻENIA
OSADEM SCIEKOWYM

| Lp. | Element śladowy | Stężenie w osadzie *) Eo μg/gś.m. | Stężenie w glebie **) Eg μg/gś.m. | Zalecany poziom stężeń ***) Egz μg/gś.m. | Poziom nawożenia w t/ha-rok | | |
|-----|-----------------|---|---|--|--------------------------------|----------|----------|
| | | | | | n=20 lat | n=30 lat | n=40 lat |
| 1. | Cynk (Zn) z=0 | 3458,6 | 25 | 300 | 16,7 | 11,1 | 8,3 |
| 2. | Chrom (Cr) z=0 | 731,5 | 30 | 100 | 20,1 | 13,4 | 10,0 |
| 3. | Ołów (Pb) z=0 | 371,5 | 30 | 100 | 39,6 | 26,4 | 19,8 |
| 4. | Miedź (Cu) z=0 | 366,8 | 15 | 100 | 48,7 | 32,4 | 24,3 |
| 5. | Nikiel (Ni) z=0 | 120,3 | 15 | 100 | 148,4 | 98,9 | 74,2 |
| 6. | Kadm (Cd) z=0 | 19,7 | 2 | 5 | 32,0 | 21,3 | 16,0 |

Wartość średnia dla wybranych elementów śladowych w t/ha-rok 51,0 34,0 25,4
Wartość śred. dla (Zn, Cr, Pb) w t/ha-rok 25,5 17,0 12,7

jest w przekonaniu autora operować uśrednioną wielkością dawki nawożeniowej, odnoszącą się do obecności i koncentracji tylko trzech składników, a mianowicie: cynku, chromu i ołowiu. Wielkość obliczeniowej, uśrednionej dawki nawożeniowej przy cykliczności 20-letniej wynosi około 26 t/ha.

Przy tym sposobie obliczania nie uwzględniono zjawiska wynoszenia metali przez rośliny i wypłukiwania ich z warstwy glebowej. Czynniki te wpływają na zmniejszenie tempa kumulacji metali w glebie a zatem stwarzają dodatkowy współczynnik bezpieczeństwa dla środowiska. W dalszej fazie, głównie badań wegetacyjnych w skali polowej, możliwe będzie ustalenie rzeczywistego przebiegu zjawiska kumulacji. Uważa się, że aktualnie do wstępnych obliczeń szacunkowych przyjmować można dawkę osadu w granicach 30 t/ha-rok.

Kryterium higieniczno-sanitarne

Istotnym czynnikiem w ocenie przydatności i możliwości stosowania osadów do celów rolniczych jest tzw. aspekt sanitarny. Z dotychczasowych doświadczeń i prac badawczych wynika [2, 4], że osady przefermentowane zawierają tak niskie stężenie bakterii patogennych, wirusów i pasożytów, że są one bezpieczne przy wykorzystywaniu ich do nawożenia bez potrzeby stosowania dodatkowych zabiegów. Stwierdza się jednocześnie, że stopień zagrożenia sanitarnego takich osadów zbliżony jest bardzo do podobnej charakterystyki normalnie nawożonych gleb uprawnych.

Dodatkowa przeróbka osadów, polegająca m.in. na pasteryzacji, suszeniu termicznym lub też tlenowej stabilizacji zwiększają potencjalny stopień bezpieczeństwa, ale metody te mogą być brane pod uwagę w powiązaniu z analizą techniczno-ekonomiczną. Mniej kosztownym zabiegiem jest kompostowanie osadów, którego działanie odkażające szczególnie na patogeny, porównywane może być do efektów pasteryzacji. Dotychczasowe obserwacje przekonują, że większość organizmów chorobotwórczych nie

rozmnaża się w osadzie i stopniowo ginie. Również środowisko i mikroflora glebowa wykazuje podobne działanie.

Istnieje jednak pewna niejasność co do szybkości tego procesu i stąd nie ma zdecydowanej odpowiedzi, w jakiej fazie przeróbki osady nadają się do nawożenia np. warzyw konsumpcyjnych. W związku z tym nie zaleca się stosowania osadów do nawożenia warzyw w pierwszym roku po ich wyprodukowaniu, o ile nie są one pasteryzowane lub kompostowane.

Zagrożenie sanitarne świeżo przefermentowanych osadów jest prawdopodobnie minimalne, ale nie należy pozostawiać nawet i tak niewielkiego marginesu niepewności.

Kryterium terenów i gleb

Wiele właściwości gleby decyduje o sposobie i wielkości nawożenia osadem. Do własności tych należą: odczyn gleby, struktura warstwy powierzchniowej, zdolność jon-wymienna, zawartość substancji organicznej oraz profil glebowy. Najistotniejszą cechą gleby jest jej odczyn pH, a większość elementów ulega łatwiej rozpuszczeniu w glebie kwaśnej aniżeli obojętnej czy alkalicznej (za wyjątkiem molibdenu). Przy nawożeniu więc gleb osadem, bardzo ważną jest sprawą kontrola i utrzymanie pH powyżej 6,5.

Kolejną, ważną cechą gleb jest ich zdolność jono-wymienna, która jest miernikiem zawartości substancji organicznej. Im wyższa jest zdolność jono-wymienna gleby, tym wyższa może być dawka nawożeniowa osadem, nie wywołująca objawów negatywnych. Praktycznie, rozumieć to należy w ten sposób, że wyższa wartość tego wskaźnika zwiększa stopień zabezpieczenia środowiska, a głównym warunkiem jest nieprzekraczanie ustalonych, tolerowanych poziomów stężeń. Gleby organiczne mają na ogół niskie pH, wykazują wysoki stopień nityfikacji i posiadają wysoki poziom wody gruntowej. Nawożenie osadem przyspiesza proces nityfikacji i wzrost azotynów. Pomimo wysokiego stopnia absorpcji elementów, nadmiar ich łatwo staje się dostępny dla roślin, właśnie w glebach kwaśnych.

Biorąc pod uwagę powyższe obiekcje a także uwzględniając dotychczasowe doświadczenia najbardziej korzystnymi do nawożenia są gleby lekkie, o niskiej klasie bonifikacyjnej. Nadają się do tych celów w sposób doskonały gleby piaszczyste a także prawie wszystkie gleby terenów zdegradowanych działalnością przemysłowo-gospodarczą lub też naturalnymi procesami przyrodniczymi jak erozja czy stepowanie.

Kryterium roślin i upraw

Różne uprawy (rośliny) wykazują zróżnicowaną zdolność pobierania metali z gleby. Wykazują one również niejednolite cechy adsorbowania elementów przez poszczególne swoje or-

gany. Np. nasiona roślin zbożowych zawierają niższe stężenia aniżeli obserwuje się to w innych częściach roślin. Stąd też wynika wniosek, że nawożenie osadem roślin zbożowych daje znaczne ograniczenie potencjalnego zagrożenia ze strony elementów śladowych. Największą zdolność absorpcji elementów obserwuje się w większości roślin warzywnych, szczególnie tych, których częścią jadalną są liście np. sałaty czy szpinaku [3]. Zachowując jednakże przyjęte zasady i ustalone kryteria osady ściekowe nadają się do nawożenia pól uprawnych. Wieloletnie doświadczenia niemieckie [9] wskazują, że osady nadają się w szczególności do nawożenia roślin okopowych, takich jak: buraki cukrowe i pastewne, brukiew lub kartofle pastewne oraz takich upraw jak: m.in. rzepak, kukurydza, konopie; nadają się również do nawożenia wszystkich roślin i traw pastewnych. Do uprawy na polach nawożonych osadem nadają się również zboża z tym, że z uwagi na zagrożenie zwrócić należy uwagę na działanie azotu. Zboża ozime i użytki zielone powinno się nawozić w miesiącach zimowych. Osad przemaznięty rozsypuje się wiosną dosyć łatwo pod działaniem urządzeń agrotechnicznych.

Wnioski

1. Osady ściekowe, pochodzące z miejskich oczyszczalni ścieków w Polsce mogą być unieszkodliwiane poprzez ich rolnicze wykorzystanie. Na obecnym etapie rozpoznania składu fizyko-chemicznego występujące elementy śladowe nie stanowią zagrożenia, pod warunkiem zachowania określonych zasad postępowania, przestrzegania kultury rolnej i właściwego zrozumienia sensu ochrony środowiska.
2. Za decydujące kryterium o przydatności i stosowania osadów na pola przyjmuje się

obecność w tej substancji 6-ciu elementów śladowych, a mianowicie: CYNKU, CHROMU, OŁOWIU, MIEDZI, NIKLU i KADMU; ich stężenia w osadach i glebie stanowią podstawę do określenia poziomu nawożenia.

3. Wyniki badań występowania elementów śladowych w osadach przedstawione na rys. 1 traktować należałoby jako sugestię dopuszczalnych stężeń w osadach, kierowanych do rolniczego wykorzystania.

LITERATURA

1. J. CEBUŁA: Unieszkodliwianie osadów ściekowych wspólnie z odpadkami stałymi w rejonach podlegających szczególnej ochronie. Prace Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Nr 11. W-wa, 1976.
2. J. CEBUŁA: Ustalenie kryterium przydatności osadów ściekowych w rolniczym ich wykorzystaniu. IMGW. Wrocław, 1980 (maszynopis).
3. EPA: Application of sewage sludge to cropland. Appraisal of Potential Hazards of the Heavy Metals to Plants and Animals. Washington. DC. 20460, 1976.
4. L. PAWŁOWSKA i inni: Ocena aktualnego stanu gospodarki osadem ściekowym w kraju. IKS. Warszawa, 1979 (maszynopis).
5. R. CZUBA: Nawożenie. PWRiL. Warszawa, 1979.
6. I. D. CUNNINGHAM: Phytotoxicity and uptake of metals added to soils as inorganic salts or in sewage sludge. J. Environ. Qual. 4, 1975.
7. J. M. WALKER: Sewage sludges - Management Aspects for Land Application, Compost Science. 16 (2), 1975.
8. G. G. CHUMBLEY: Permissible levels of toxic metals in sewage sludge used on agricultural land. Ministry of Agriculture Fisheries and Food. 10, 1-12, 1971.
9. O. PALLASCH, W. TRIEBEL: Lehr-und Handbuch der Abwassertechnik. Band II. Berlin, 1969.
10. D. R. KEENEY i inni: Guidelines for the application of wastewater sludge to agricultural land in Wisconsin. Tech. Bull. 88. Dept. Natural Resources. Madison, 1975.