

OCENA MOŻLIWOŚCI ROLNICZEGO WYKORZYSTANIA OSADÓW Z DOLNOŚLĄSKICH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

W rozwiązywaniu problematyki osadowej jednym z kierunków, coraz częściej preferowanych, jest traktowanie osadów ściekowych jako źródła nawozu naturalnego i składnika poprawiającego strukturę gleby poprzez podwyższenie zawartości substancji humusowych. U podstaw takiego rozumowania leży przekonanie, że zawartość materii organicznej oraz substancji nawozowych nadaje osadom cechy zbliżone do obornika [20, 21]. Z tych powodów jest propagowane wykorzystywanie osadów w rolnictwie.

Upowszechnienie rolniczego wykorzystania osadów ściekowych bez właściwej kontroli ich oddziaływania na środowisko glebowe może być przedsięwzięciem ryzykownym, ponieważ osady zawierają prawie wszystkie pierwiastki chemiczne, a wśród nich i te, które wykazują cechy toksyczne.

Usuwanie osadów do gruntu — jako sposób ich ostatecznej likwidacji, po uprzednim właściwym unieszkodliwieniu, bądź wykorzystanie do nawożenia gleby — doprowadza do skumulowania w glebie nadmiernej ilości poszczególnych pierwiastków. W środowisku glebowym znaczenie pierwiastków zmienia się w zależności od ich stężenia, warunków fizykochemicznych, uprawianych roślin itp.

W śladowych ilościach pierwiastki lub ich połączenia często spełniają funkcje mikroelementów stymulujących rozwój roślin, natomiast w wyższych stężeniach mogą być toksyczne. Stopień toksyczności poszczególnych pierwiastków jest różny. Zgodnie z sugestiami Wood'a [22], pod względem toksyczności pierwiastki można podzielić na: obojętne i ogólnie spotykane, bardzo toksyczne i względnie dostępne oraz toksyczne lecz nierozpuszczalne lub bardzo rzadko spotykane (tab. 1). Nieco inny podział podali Beckett i Davies [17], którzy omawiając toksyczność pierwiastków przyswojonych przez rośliny, a następnie spożywanych wraz z pokarmem roślinnym, wyodrębnili następujące grupy: toksyczne, przypuszczalnie toksyczne oraz o nieokreślonym działaniu (tab. 2).

Z porównania tych zestawień wynika jednoznacznie, że w grupie pierwiastków toksycznych występują przede wszystkim metale ciężkie. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że stopień toksyczności jest uwarunkowany przyswajalnością poszczególnych pierwiastków przez

Tabela 1

KLASYFIKACJA PIERWIĄTKÓW ZE WZGLĘDU NA ICH TOKSYCZNOŚĆ [22]

Grupa	Pierwiastki
Obojętne i ogólnie spotykane	Na, K, Mg, Ca, H, O, C, N, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Ba, Al, Si
Bardzo toksyczne i względnie dostępne	Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb, Bi
Toksyczne lecz nierozpuszczalne lub bardzo rzadko występujące	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru

Tabela 2

PODZIAŁ PIERWIĄTKÓW W ZALEŻNOŚCI OD ICH TOKSYCZNEGO DZIAŁANIA PO SPOŻYCIU [1]

Grupa	Pierwiastki
Toksyczna	As, B, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Ni, Pb, Se, Zn
Przypuszczalnie toksyczna	Ag, Ba, Be, Bi, Co, Mo, Sb, Sn, Te, Tl, V, Zr
O nieokreślonym oddziaływaniu	Ce, Ga, Ge, In, La, Li, Lu, Nb, Os, Pd, Pr, Pt, Tb, Rh, Ru, Sc, Sm, Ta, Tc, Th, Tm, U, W, Y, Yb

system korzeniowy roślin, która jest z kolei uzależniona od czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych, co ilustruje rys. 1.

Jak widać, oddziaływanie metali jest procesem złożonym. Zmniejszenie zagrożenia, wynikającego z zanieczyszczenia środowiska glebowego metalami ciężkimi, wymaga pełnej kontroli usuwania osadów ściekowych, stanowiących jedno ze źródeł metali. Procedura kontrolna powinna obejmować zarówno ustalenia poziomów stężeń toksycznych poszczególnych pierwiastków w danych warunkach środowiskowych jak i określenie szybkości przebiegu zmian tych stężeń. Stwierdzenie tego typu przemian wymaga dokładnego określenia wartości normalnych stężeń każdego pierwiastka w glebie (tzw. tła), ich wzajemnego oddziaływania oraz oceny ilościowej niedoborów lub nadmiarów każdego z nich dla poszczególnych upraw w konkretnych warunkach glebowych [4, 17]. Wiadomo bowiem, że dla każdego układu: roślina — gleba — pierwiastek należy wykonać oddzielne badania, gdyż uogólnienie wyników badań, uzyskanych w konkretnych warunkach jest obarczone dużym błędem.

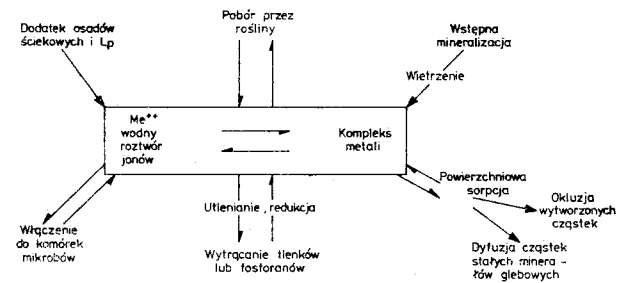
Cel i metoda badań

Celem pracy jest określenie stężeń metali ciężkich w osadach z dolnośląskich oczyszczalni ścieków oraz ocena przydatności tych osadów do rolniczego wykorzystania.

Do badań wytypowano dziesięć oczyszczalni, zlokalizowanych w miastach o różnym stopniu uprzemysłowienia, na obszarze województw: legnickiego, wałbrzyskiego i jeleniogórskiego (rys. 2). W każdej z oczyszczalni pobrano 10 uśrednionych prób w miesięcznych odstępach czasu. Osady, pobierane z suszarek lub poletek, były unieszkodliwione w takim stopniu jak zazwyczaj przy ich usuwaniu z badanych oczyszczalni. Sposób poboru prób osadów oraz ich analizy był zgodny z podanym przez R. Korol i C. Łojewską [12].

Ocenę przydatności osadów do rolniczego wykorzystania opracowano na podstawie równoważnika cynkowego czyli względnej toksyczności cynku, obliczonej ze stężeń najbardziej toksycznych metali, tj.: cynku, miedzi i niklu. Do obliczeń wykorzystano zależność: $R_{Zn} = Zn + 2Cu + 8Ni$, (mg/kg sm lub ‰ sm) w której Zn, Cu i Ni są stężeniami poszczególnych metali w mg/kg lub w procencie suchej masy, natomiast 2 i 8 są współczynnikami stałymi, charakteryzującymi względną toksyczność miedzi i niklu w odniesieniu do cyku [7, 9].

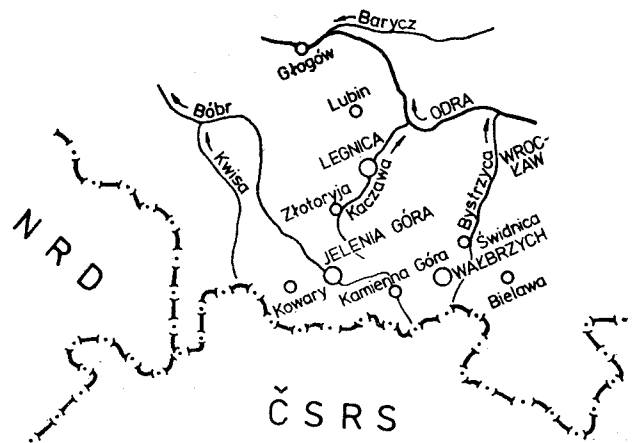
Wielkości dopuszczalnych dawek osadów określono na podstawie nomogramu Mosey'a [15], uwzględniającego zarówno R_{Zn} jak i zawartość suchej masy w osadach (rys. 3). Dla każdej oczyszczalni obliczono średnią dawkę oraz statystycznie zinterpretowano wszystkie wyniki, uzyskując przeciętną dawkę dla badanego obszaru.



Rys. 1. Czynniki decydujące o przyswajaniu pierwiastków z gleby przez korzenie roślin [1].

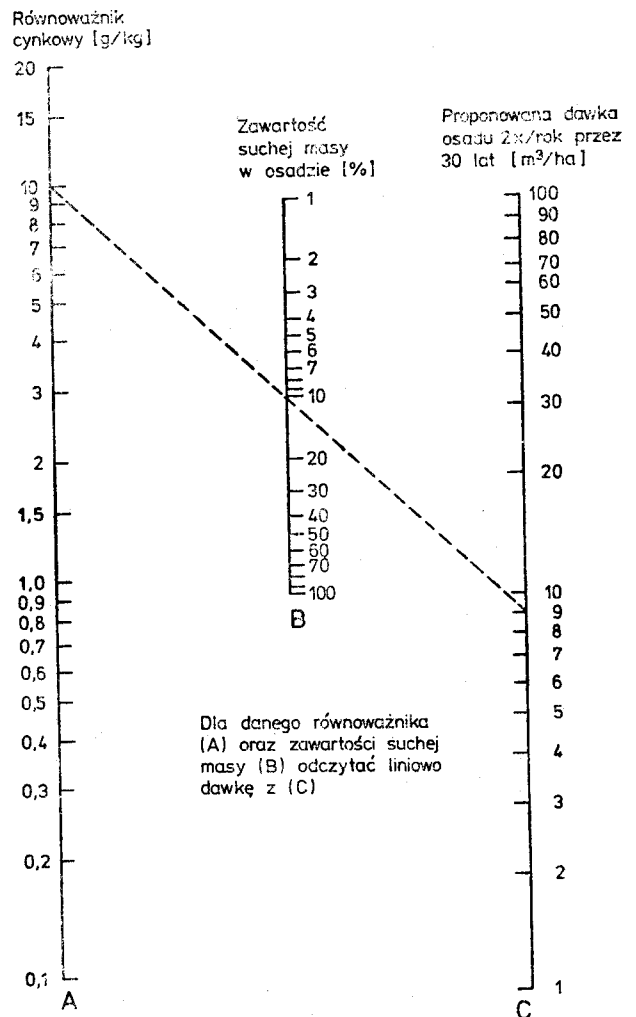
Wyniki badań i dyskusja

Z porównania podstawowych cech, charakteryzujących badane osady, stwierdzono, że są one podobne i nie występują istotne różnice w poszczególnych oczyszczalniach (tab. 3). Badane osady są dość dobrze odwodnione, a przeciętna zawartość suchej masy utrzymuje się w granicach 13–48%, natomiast wielkości ekstremalne — od 10,1 do 69%. Zawartość materii organicznej w tych osadach jest wyższa od 50% sm, a w Legnicy, Świdnicy i Wałbrzychu przekra-



Rys. 2. Lokalizacja badanych oczyszczalni ścieków

cza nawet 60%, również zawartość węgla w osadach — tych trzech oczyszczalni — jest najwyższa. Ilość substancji azotowych, oznaczana jako azot całkowity, zmienia się w dość szeroki zakres — od 3,1 do 44,2 mg/g sm, w poszczególnych oczyszczalniach przeciętne ilości są mniejsze — od 7,5 do 30 mg/g, natomiast średnie ilości azotu amonowego w osadach zmieniają się od 1,7 do 10,5 mg/g sm. Przeciętna zawartość fosforu w badanych osadach



Rys. 3. Nomogram do odczytywania dopuszczalnych dawek osadu

utrzymuje się na poziomie 1,7 mg/g sm, natomiast średnia ilość potasu wynosi 0,7 mg/g.

Na podstawie wyników, przytoczonych w tab. 3, można stwierdzić, że badane osady są zasobne w materię organiczną oraz substancje nawozowe w stopniu decydującym o celowości ich wykorzystania w rolnictwie, jednak ilości metali toksycznych (cynku, miedzi i niklu), charakteryzowanych równoważnikiem cynkowym, budzą poważne zastrzeżenia.

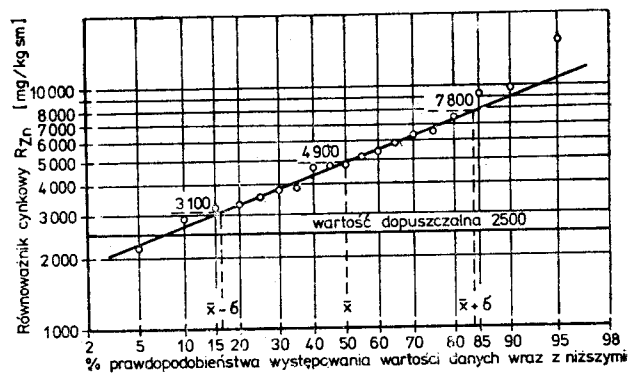
Analizy występowania 28 wybranych pierwiastków, tj.: arsenu, baru, bizmutu, boru, chromu, cyny, cynku, fosforu, galu, glinu, kadmu, kobaltu, krzemu, magnezu, manganu, miedzi, molibdenu, niklu, ołowiu, rtęci, srebra, sodu, potasu, talu, tytanu, wanadu, wapnia i żelaza opracowano łącznie dla wszystkich badanych oczyszczalni i podano jako zakresy stwierdzonych stężeń oraz wartości średnie, (tab. 4). Uzyskane z badań zakresy zmienności stężenia poszczególnych pierwiastków oraz wartości średnie nie różnią się od cytowanych w przez innych autorów (tab. 4) i przekraczają poziom stężeń najczęściej spotykanych, tj. normalnych dla osadów komunalnych, nie zanieczyszczonych ściekami przemysłowymi, są również wyższe od wartości dopuszczalnych przy rolniczym wykorzystaniu osadów ściekowych (tab. 5).

Porównanie stężeń poszczególnych pierwiastków z wielkościami cytowanymi przez innych autorów wykazuje, że badane osady charakteryzuje podobny poziom stężeń jak w krajach europejskich oraz w USA. Z tego powodu zasady usuwania osadów do gruntu w naszych warunkach mogą być podobne do wymagań krajów wysoko rozwiniętych.

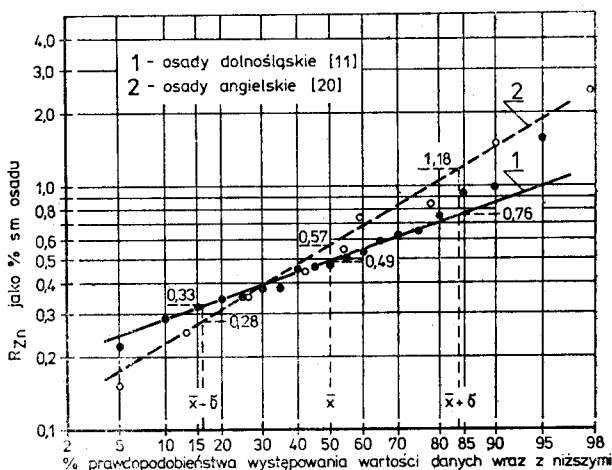
Ogólnie można przyjąć, że jednorazowe rolnicze wykorzystanie badanych osadów (jako nawozu naturalnego lub modyfikatora gleby) nie jest szkodliwe, a wysokość dawki osadu należy określać na podstawie zawartości materii organicznej oraz substancji azotowych [4]. Natomiast projektowanie wielokrotnego usuwania osadów na jednym, rolniczo wykorzystywanym terenie, wymaga określenia wielkości dawek dopuszczalnych, które można obliczać na podstawie zawartości w osadach metali ciężkich charakteryzowanych równoważnikiem cynkowym.

W badanych osadach wielkości R_{Zn} zmieniały się od 2261 do 16928 mg/kg sm z tym, że w Bielawie, Jeleniej Górze, Świdnicy oraz Złotorzy przekroczyły one wartość dopuszczalną, tj. 7 500 mg/kg [3]. Statystyczna analiza wielkości R_{Zn} dowodzi, że jego zmienność podlega rozkładowi lognormalnemu ze średnią 4 900 mg/kg, a wartość graniczną przekroczyło 20% wyników (rys. 4). W porównaniu z osadami angielskimi [21] osady dolnośląskie charakteryzuje niższa wartość średniej R_{Zn} oraz mniejsza dyspersja (rys. 5).

Wielkość dawek osadów w rolniczym ich wykorzystaniu, określona na podstawie nomogramu zmienia się od 1,5 do 22 m³/ha i rok — w zależności od charakterystyki osadów. Po prze-

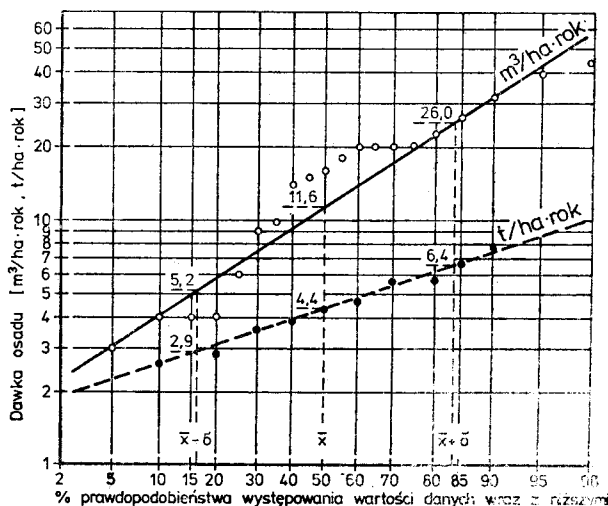


Rys. 4. Rozkłada częstotliwości występowania R_{Zn} w osadach z oczyszczalni



Rys. 5. Rozkłada częstotliwości występowania wielkości równoważnika cynkowego w osadach dolnośląskich [11] oraz angielskich [21]

liczeniu na suchą masę osadu zakres zmienności dawek ulega zmniejszeniu, a wartość średnia (50%) wynosi 4,4 t/ha i rok (rys. 6). Zarówno dawki masowe (t/ha i rok) jak i objętościowe (m³/ha i rok) różnią się od podawanych w literaturze wielkości dawek dopuszczalnych (bezpiecznych). Różnice te wynikają z wyższych koncentracji metali ciężkich w osadach dolnośląskich i zachowanie warunku bezpiecznego stosowania osadów decyduje o obniżeniu wielkości dawek.



Rys. 6. Rozkłada wielkości dopuszczalnych dawek osadów z oczyszczalni Dolnego Śląska

ZAKRES ZMIAN WSKAŹNIKÓW FIZYKOCHIMICZNYCH W OSADACH Z OCZYSZCZALNI NA OBSZARZE DOLNEGO ŚLĄSKA

Oczyszczalnie — miejscowości:

L.p.	Wskaźnik	Jednostka	Bielawa	Głogów	Jelenia Góra	Kamienna Góra	Kowary	Legnica	Lubin	Świdnica	Złotoryja	Walbrzych
1	Odczyn	pH	6,5-7,7	7,1-7,8	6,9-7,2	6,2-7,3	5,2-7,5	7,2-7,9	6,9-7,9	6,2-6,7	7,2-7,7	7,0-7,8
2	Sucha masa	% s.m.	15,7-31,1	23,5-43,4	36,0-56,7	18,7-28,6	34,7-40,4	10,1-17,1	24,1-42,5	19,1-25,3	25,8-69,7	12,1-19,8
3	Substancje organiczne	mg N/g sm	28,5-71,2	39,8-52,9	49,1-60,5	58,5-65,9	40,3-59,0	56,9-69,2	53,2-57,8	65,9-69,9	53,8-62,5	61,8-63,8
4	Azot ogólny	mg N/g sm	20,0-30,6	9,4-27,3	3,1-12,6	16,5-44,2	3,1-16,1	16,6-20,9	8,4-22,5	13,7-25,9	7,9-17,9	18,2-24,2
5	Azot amonowy	mg N/g sm	1,8-2,8	2,5-4,1	1,7-9,8	1,8-5,1	0,2-3,4	2,7-3,5	0,85-2,80	4,7-15,4	2,5-13,5	5,8-7,9
6	Kwasy tłuszczowe	mg/g sm	2,7-16,3	1,1-6,6	1,3-1,9	1,2-6,9	0,9-4,2	2,5-4,2	1,0-4,1	6,7-13,4	1,2-2,3	3,0-5,4
7	Kwasowość	mval/l	0,3-5,5	1,0-19,0	0,8-2,0	0,3-5,0	0,2-1,0	2,0-6,0	1,0-2,0	5,0-12,4	0,58-0,6	4,0-18
8	Kwasowość	mval/l	1,8-54,0	3,0-66,0	2,0-8,0	1,7-15,0	0,8-3,2	2,0-51,0	3,0-3,2	6,0-68	2,8-16,0	46-60
9	Fosfor całkowity	mg P/g sm.	1,2-2,3	1,7-2,2	0,8-1,53	1,2-3,6	1,0-1,1	2,1-7,2	0,8-3,8	0,2-1,8	0,9-2,5	1,3-3,8
10	Węgiel *)	mg C/g sm.	33,1-40,1	19,5-25,0	18,1-31,9	31,2-42,9	19,8-28,6	32,5-47,4	31,9-36,2	27,4-40,0	17,3-3,3	36,2-39,1
11	Wodór *)	mg H/g sm.	2,4-8,1	2,5-3,0	2,0-3,3	2,1-3,8	2,1-5,5	2,4-5,3	2,1-4,4	2,9-7,6	2,1-2,8	2,2-3,0
12	Azot *)	mg N/g sm.	0,7-21,5	2,1-3,1	1,5-3,2	0,7-2,5	2,1-2,9	0,8-2,7	1,2-3,6	1,6-3,8	2,1-2,6	1,4-2,5
13	Potas	mg K/g sm.	0,4-0,88	0,56-0,86	0,4-1,2	0,24-0,48	0,36-0,54	0,36-0,48	0,32-0,42	0,96-2,6	0,55-0,96	0,4-1,1
14	Równoważnik cynkowy	mg/kg s.m.	6472-9911	6374	5305-7534	2907-4746	2251-3253	3873-5910	3630-5178	4754-16928	3502-9439	3385-4746

*) — Oznaczenia wykonano przy użyciu aparatu Hewlett — Packard „CHN”

Tabela 4

ZAWARTOŚĆ NIEKTÓRYCH PIERWIASTKÓW W OSADACH SCIEKOWYCH NA PODSTAWIE BADAŃ WŁASNYCH I INNYCH AUTORÓW

Lp.	Pierwiastek	nazwa symbol	Koncentracje $\mu\text{g/g s.m. osadu}$									
			[1,2]	[5]	[6,13]	[8]	[10]	[14]	[16]	[20]	[21]	
		zakres	śred. ± OS *)	zakres		śred.	zakres		śred.	zakres		
1	Arsen	As	1-60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Bar	Ba	0-2700	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Bismut	Bi	0-350	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Bor	B	4-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Chrom	Cr	1-7000	430 ± 310	17000	1600	—	—	—	—	—	—
6	Cyna	Sn	1-100	1860 ± 1920	—	—	—	—	—	—	—	10-2000
7	Cynk	Zn	1200-9250	4210 ± 380	1280	4700	3640	322	350-8000	1600	700-49000	500-5000
8	Fosfor	P	0-8	8000 do 37000	—	—	—	—	3000-36000	—	—	—
9	Gal	Ga	200-7200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Glin	Al	3400-70000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Kadm	Cd	3-116	75 ± 104	6	40	13	44	4-40	23	60-1500	—
12	Kobalt	Co	3-15	350 ± 220	—	45	—	—	—	—	—	—
13	Krzem	Si	9000-480000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	Magnez	Mg	1150-51000	1300 ± 2290	—	6715	6920	—	—	—	—	—
15	Mangan	Mn	100-757	1590 ± 1670	520	730	1590	666	—	—	—	—
16	Nikiel	Ni	152-2375	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	Molibden	Mo	0-28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	Miedź	Cu	47-737	680 ± 620	3800	270	77	33	—	—	—	—
19	Ołów	Pb	197-1010	2750 ± 2350	—	1000	4700	111	—	—	—	—
20	Rtęć	Hg	0,1-3,5	10 ± 18	—	2,5	0,05	—	—	—	—	—
21	Srebro	Ag	5-58	250 ± 230	—	15	—	—	—	—	—	—
22	Sód	Na	40-2620	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	Potas	K	240-1200	2000 do 7000	—	—	—	—	—	—	—	—
24	Tal	Tl	0-130	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	Tytan	Ti	78-38000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	Wanad	V	6-620	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	Wapń	Ca	1600-58000	19065	—	8900	79000	—	—	—	—	—
28	Żelazo	Fe	7100-81000	24000	—	40290	—	2777	—	—	—	—

*) śred. ± OS, tj. wartość średnia oraz odchylenie standardowe

Tabela 5

PRZECIĘTNE KONCENTRACJE METALI W OSADACH KOMUNALNYCH
ORAZ WARTOŚCI DOPUSZCZALNE
DO ROLNICZEGO WYKORZYSTANIA W 1g SUCHEJ MASY OSADU

Lp.	Pierwiastek	Stężenie normalne wg:			Dopuszczalna wartość [5]
		[18]	[19]	[21]	
1	Cynk	1000—3000	500	1320	2000
2	Miedź	500—1500	200	30	800
3	Mangan	200—500	—	—	—
4	Olów	100—300	100	340	1000
5	Chrom	50—200	100	70	—
6	Nikiel	25—100	100	40	100
7	Kobalt	8—20	—	—	—
8	Kadm	5—15	10	—	5% Zn
9	Rtęć	4—8	—	—	15
10	Bor	—	—	—	100

Zgodnie z przepisami szwedzkimi, mającymi charakter prawa osadowego, jeżeli osady zawierają metale ciężkie w ilościach większych od normalnych (tab. 5, poz. 18), nie powinny być stosowane do celów rolniczych, natomiast w pozostałych przypadkach można je stosować pod wszystkie uprawy przy zachowaniu warunku, iż maksymalna sumaryczna dawka nie przekroczy 5 t/ha i rok z częstotliwością stosowania co pięć lat [18]. W Stanach Zjednoczonych maksymalna dawka zalecana nie przekracza 22,4 t/ha i rol lub 1,22 ha/1000 RIM. Dawka ta może być niższa nawet 10-krotnie przy niekorzystnym składzie chemicznym osadów [13].

Przepisy holenderskie zezwalają na rolnicze wykorzystywanie jedynie tych osadów, w których metale ciężkie nie przekraczają stężeń dopuszczalnych, tj.: cynku — 2000 mg/dm³, miedzi — 500 mg/dm³, niklu — 50 mg/dm³, kadmu — 10 mg/dm³. Przy zachowaniu stężeń dopuszczalnych dawki osadów powinny być utrzymane w następujących granicach:

dla pól uprawnych 2 t/ha i rok,
dla łąk i pastwisk 1 t/ha i rok.

Łączna dawka dla wielolecia nie powinna przekraczać odpowiednio 200 i 100 t/ha [6].

Wnioski

Z dyskusji nad uzyskanymi wynikami badań oraz porównań ich z danymi literaturowymi można podać pewne uogólnienia.

1. Chemiczny skład osadów dolnośląskich oczyszczalni ścieków miejsko-przemysłowych nie różni się od przeciętnych charakterystyk, cytowanych w literaturze.

2. Zawartość metali ciężkich w badanych osadach przekracza poziom stężeń przyjmowanych jako dopuszczalne przy niekontrolowanym usuwaniu osadów do gruntu.

3. Przeciętna wartość równoważnika cynkowego, przyjętego za podstawę oceny wielkości dopuszczalnych dawek osadów, wynosi 4 900 mg/kg, natomiast górne odchylenie standardowe — 7 900 mg/kg sm.

4. Zakres wahań dopuszczalnych dawek osadów, określonych ze względu na zawartość metali ciężkich w poszczególnych oczyszczalniach, wynosi:

5,2—26 (średnia 11,6) m³/ha i rok
lub 2,9—6,4 (średnia 4,4) t/ha i rok.

LITERATURA

- P. T. H. BECKETT, R. D. DAVIES, P. BRINDLEY: The Disposal of Sewage Sludge onto Farmland. The Scope of the Problem of Toxic Elements. *Water Poll. Contr.* vol. 78, Nr 4, pp. 419—440. 1979.
- P. T. H.: BECKETT: An All-Elements Analysis of Digested Sewage Sludge. *Wat. Poll. Contr.* vol. 77, No 4, pp. 539—546. 1978.
- M. J. BURLEY, R. W. BAYLEY: Sludge Disposal Strategy: Process and Costs. *Wat. Poll. Contr.* vol. 76, No 2, pp. 205—221. 1977.
- R. D. DAVIS, P. T. H. BECKETT: The Use of Young Plants to Detect Metal Accumulation in Soils. *Wat. Poll. Contr.* vol. 77, No 2, pp. 193—205. 1978.
- R. B. DEAN: Hazards from Metal and Organic Pollutants in Sludge from Municipal Treatment Plants. *Confer. in Connect. with the Inter. Wat. Conserv. Exhib. Jönköping, Szwecja.* 1975.
- S. HAAN: Land Application of Liquid Municipal Wastewater Sludges. *J.W.P.C.F.* vol. 47, No 11, pp. 2707—2710. 1975.
- B. HARKNESS: The Use of young Plants to Detect Metal Accumulation in Soils. *Wat. Poll. Contr.* vol. 77, No 2, p. 207. 1978.
- H. C. HYDE: Utilization of Wastewater Sludge for Agricultural Soil Enrichment. *J.W.P.C.F.* vol. 48, No 1, pp. 77—90. 1976.
- J. E. JAMES, P. J. MATTHEWS: Sewage Sludge Disposal — Which Option? *Wat. Poll. Contr.* vol. 78, No 2, pp. 270—278. 1979.
- S. E. JRGENSON: Do Heavy Metals Prevent the Agricultural Use of Municipal Sludge? *Wat. Res.* vol. 9, No 2, pp. 163—170. 1975.
- R. KOROL, J. CEBLUA, C. ŁOJEWSKA: Testowe badania przydatności osadów ściekowych do przeróbki. *Maszynopis. Min. Adm., Gosp. Ter. i Ochrony Środ.* Warszawa, 1975.
- R. KOROL, C. ŁOJEWSKA: Metody analityczne badania składu i właściwości osadów ściekowych. *Skrypt. IMGW.* Wrocław 1977.
- R. J. MANSON, C. A. MERRIT: Land Application of Liquid Municipal Wastewater Sludge. *J.W.P.C.F.* vol. 47, No 1, pp. 20—29. 1975.
- F. E. MOSCY, D. A. HUGNES: The Toxicity of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion. *Wat. Poll. Contr.*, vol. 74, No 1, pp. 18—39. 1975.
- E. F. MOSCY: Assessment of the Maximum Concentration of Heavy Metals in Crude Sewage which will not Inhibit the Anaerobic of Sludge. *Wat. Poll. Contr.*, vol. 75, No 1, pp. 10—20. 1976.
- M. G. NORTON: The Control and Monitoring of Sewage Sludge Dumping at Sea. *Wat. Poll. Contr.* vol. 77, No 3, pp. 402—407. 1978.
- Report of the Sub-Committee on Disposal Sewage Sludge to Land. *Wat. Poll. Contr.* vol. 74, No 4, pp. 476—477. 1975.
- V. TULLANDER: Final Disposal of Municipal Sludge in Swedwn. *J.W.P.C.F.* vol. 47, No 4, pp. 688—695. 1975.
- D. C. WATSON: The Survival of Salmonellae in Sewage Sludge Applied to Arable Land. *Wat. Poll. Contr.* vol. 79, No 1, pp. 11—18. 1980.
- J. H. WILLIAMS: Use of Sewage Sludge on Agricultural Land and the Effects of Metals on Crops. *Wat. Poll. Contr.* vol. 74, No 6, pp. 635—644. 1975.
- R. WILLIAMS: A Survey of the Heavy Metal and Inorganic Content of Sewage Sludges. *Wat. Poll. Contr.* vol. 74, No 5, pp. 607—608. 1975.
- J. M. WOOD: Metabolic Cycles for Toxic Elements in the Environment: A Study of Kinetics and Mechanism. Application of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment. *The Intern. Confer. Sponsored by Int. Conf. on Poll. Research. Vanderbilt University, Nashville, Tennessee. USA,* 1972.