

# Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji

*Józef Malej*  
*Politechnika Koszalińska*

*Recenzent: Grażyna Wasiak*  
*Instytut Ochrony Środowiska - Warszawa*

## 1. Wstęp

Oczyszczone ścieki – w różnym stopniu – odprowadzane są najczęściej do wód powierzchniowych. Wody powierzchniowe, zarówno stojące jak i płynące, mogą przyczyniać się do rozprzestrzeniania się mikroorganizmów chorobotwórczych, co zilustrowano w tabeli 4. Osady i inne odpady z oczyszczalni ścieków (jak np. skratki, piasek z piaskownika) stanowią skoncentrowane skupisko różnych mikroorganizmów, w tym drobnoustrojów chorobotwórczych, pasożytów przewodu pokarmowego i różnych form przetrwalnikowych. Osady i inne odpady z oczyszczalni ścieków mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla ludzi i zwierząt – w przypadku niewłaściwego ich zagospodarowania, niezgodnego z odnośnymi przepisami gromadzenia i usuwania poza teren oczyszczalni. W literaturze są opisywane liczne przypadki skażenia wód powierzchniowych groźnymi drobnoustrojami chorobotwórczymi, które przedostały się z nieodpowiednio oczyszczonych ścieków lub występujących zaniedbań przy gromadzeniu i usuwaniu odpadów ściekowych.

Bardzo zróżnicowane są okresy przeżywalności mikroorganizmów chorobotwórczych w środowisku naturalnym, w glebie i na roślinach – co ilustrują tabele 5 i 6.

W procesie oczyszczania ścieków a zwłaszcza podczas przeróbki osadów ściekowych następuje tylko częściowe unieszkodliwienie mikroorganizmów chorobotwórczych. Ilustrację skuteczności usuwania tych mikroorganizmów w różnych procesach oczyszczania ścieków przedstawiono w tabeli 7.

## 2. Unieszkodliwianie i wykorzystanie osadów ściekowych

### 2.1. Metody unieszkodliwiania i wykorzystania osadów ściekowych

Unieszkodliwienie osadów ściekowych może być połączone z gospodarczym ich wykorzystaniem. Zależy to od charakterystyki fizyczno-chemicznej i mikrobiologicznej a zwłaszcza od zawartości:

- substancji organicznych,
- składników nawozowych (głównie azot, fosfor, potas),
- metali ciężkich,
- toksycznych związków organicznych i mineralnych,
- organizmów chorobotwórczych.

Osady z biologicznego procesu oczyszczania ścieków obfitują w substancję organiczną, azot, fosfor, wapń, magnez, siarkę oraz mikroelementy niezbędne do życia roślin i fauny glebowej. Osady ściekowe wykazują dużą wartość glebotwórczą i nawozową [Siuta 1999]. Zawartość składników nawozowych w osadach z oczyszczalni komunalnych w Polsce przedstawia tabela 1.

Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych może polegać na zastosowaniu ich do [Siuta 1999]:

- nawożenia gleb i roślin,
- melioracyjnego użyźniania gleb,
- rekultywacji gruntów bezglebowych,
- biologicznego (roślinnego utrwalania powierzchni pylących i rozmywanych przez wody opadowe,
- produkcji kompostu i preparatów nawozowych.

**„Analizując cechy i własności osadów ściekowych należy zawsze mieć na uwadze także ostateczne ich zagospodarowanie. Osady z ogromnej większości polskich oczyszczalni ścieków można wykorzystać w rolnictwie, leśnictwie czy ogrodnictwie. Decydujące jednak są dwa czynniki:**

- **zawartość metali ciężkich w osadach,**
- **stan higieniczno-sanitarny osadów.” [Kempa 1995].**

Przeгляд procesów przeróbki osadów przedstawiono na rys. 1.

W krajach europejskich dominuje rolnicze wykorzystanie i składowanie osadów.

W Stanach Zjednoczonych w sposobie postępowania z osadami ściekowymi dominuje:

- wykorzystanie przyrodnicze, w tym rolnicze 21÷30%,
- składowanie na wysypiskach 12÷35%,
- spalanie, dotyczy oczyszczalni o dużej przepustowości od 38 000 m<sup>3</sup>/d, 3÷20%,
- kompostowanie 11÷19%,
- inne 12÷17%,
- zrzut do oceanu 1÷4%.

Zawartość substancji organicznych w osadach zależy od rodzaju ścieków i stosowanych procesów w czasie obróbki osadów:

- osady surowe zawierają 75÷85% substancji organicznych w suchej masie,
- osady stabilizowane zawierają około 50% substancji organicznych w s.m.

Substancje organiczne zawarte w osadach mogą decydować o sposobie ich zagospodarowania lub unieszkodliwiania np. przez spalanie.

Przeprowadzone rozpoznanie w krajowych oczyszczalniach – przez Instytut Ochrony Środowiska wykazało, że tylko na 50% badanych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych i 40% oczyszczalni mechanicznych istnieje możliwość przejściowego składowania osadów [Bernacka, Pawłowska 1996]. Stosowane sposoby postępowania z osadami pokazano w tabelach 1 i 2.

Ze wszystkich analizowanych oczyszczalni osady w 40% wywożone są na składowiska odpadów komunalnych. W oczyszczalniach mechaniczno-biologicznych (III i IV grupa) odsetek ten zwiększa się do ponad 45%.

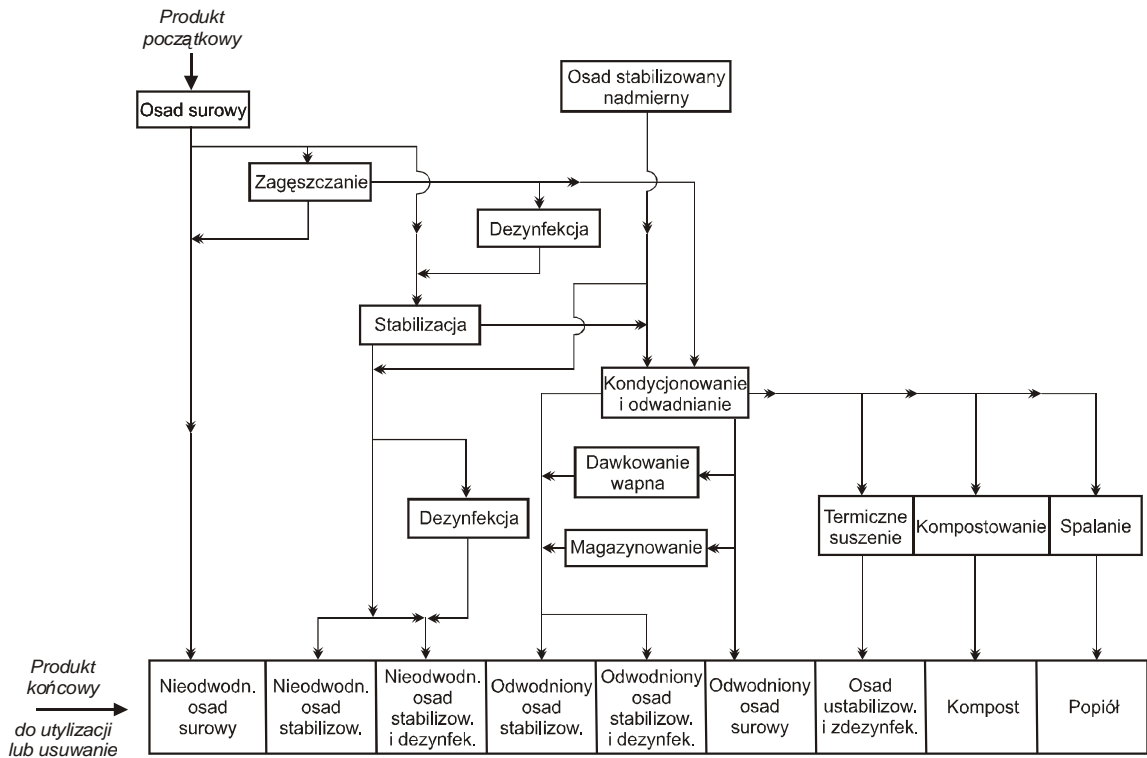
W prawie 8 procentach oczyszczalni osady wywożone są na wydzielone składowiska. Są to głównie osady z oczyszczalni grupy II i IV. Na terenie oczyszczalni składowany jest mały odsetek osadów. Są to osady z około 4% oczyszczalni, głównie grupy I i II.

Należy zwrócić uwagę, że od kilkunastu lat stosowane są osady ściekowe do rekultywacji wysypisk. W porównaniu z poprzednimi latami coraz więcej osadów wykorzystywanych jest do rekultywacji nieużytków, niwelacji terenów, rekultywacji składowisk przemysłowych czy hałd. Poza sposobem rozkładania (rozprowadzania) warstwy osadów odwodnionych na powierzchni gruntu w coraz większym zakresie stosowana jest metoda hydroobsiewu. Polega ona na wysokodynamicznym nanoszeniu kompozycji siewnych, środków użyźniających oraz substancji antyerozyjnych na terenach jałowych lub zdegradowanych. W technice tej, opracowanej w Instytucie Dróg i Mostów, osady ściekowe stosowane są jako nośniki mieszanek siewnych, a jednocześnie jako środki użyźniające i antyerozyjne. Metodę hydroobsiewu stosuje się m.in. przy zadrzewianiu skarp obwodnic, autostrad oraz składowisk odpadów elektrycznych, popiołu i żużla [Siuta 1996, 1997, 1999, 1999].

**Tabela 1.** Zawartość składników nawozowych w osadach ściekowych z oczyszczalni komunalnych w Polsce na podstawie badań IUNG przeprowadzonych w latach 1993÷1999 [Maćkowiak 1999]

**Table 1.** Content of fertilising components in sewage sludge from municipal sewage treatment plants in Poland on the basis of research of IUNG done in 1993÷1999 [Maćkowiak 1999]

Rok	Ilość próbek	Zawartość w %% suchej masy																	
		N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			CaO			MgO			Na <sub>2</sub> O		
		średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.
1993	16	3,51	1,38	7,84	2,54	0,10	4,91	0,31	0,08	0,69	4,38	1,66	7,49	0,49	0,19	0,78	0,18	0,05	0,69
1994	9	4,75	2,40	8,35	3,07	1,90	4,44	0,20	0,06	0,39	2,49	0,63	6,08	0,69	0,48	0,98	0,09	0,05	0,17
1995	13	3,13	0,30	5,91	2,55	1,00	3,85	0,27	0,08	0,46	4,56	1,95	8,11	0,51	0,28	0,96	0,10	0,02	0,21
1996	26	2,23	0,12	7,10	2,85	0,22	6,64	0,29	0,03	0,99	3,27	0,11	7,35	0,48	0,04	1,12	0,10	0,02	0,29
1997	15	2,93	1,26	5,88	3,59	0,60	7,28	0,41	0,05	0,96	4,89	0,21	6,90	0,77	0,14	1,54	0,12	0,02	0,34
1998	51	3,30	0,57	8,31	3,34	0,52	7,10	0,35	0,03	1,10	1,81	0,37	5,40	1,25	0,38	1,55	0,16	0,03	0,55
1999	27	3,78	2,18	6,47	3,35	1,42	7,03	0,33	0,08	0,73	1,82	0,54	3,20	0,82	0,33	1,81	0,15	0,07	0,23
1993-1999	157	3,37	0,12	8,35	2,96	0,10	7,28	0,31	0,03	1,10	3,01	0,37	8,11	0,74	0,04	1,81	0,12	0,02	0,55



**Rys. 1.** Schemat gospodarki osadowej [Kempa, Bień 1995]  
**Fig. 1.** Diagram of sludge management [Kempa, Bień 1995]

**Tabela 2.** Sposoby postępowania z osadami w poszczególnych grupach analizowanych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych w 1993 r. [Bernacka, Pawłowska 1996]  
**Table 2.** Methods of sludge management in individual groups of analysed mechanical and biological sewage treatment plant in 1993 [Bernacka, Pawłowska 1996]

Sposoby postępowania z osadami	Udział procentowy oczyszczalni, w których stosuje się dany sposób postępowania				
	w poszczególnych grupach				ogółem
	I	II	III	IV	
	liczba analizowanych oczyszczalni w danej grupie				
	36	42	42	11	131
<b>Składowanie</b>	<b>41,6</b>	<b>61,9</b>	<b>50,0</b>	<b>54,6</b>	<b>51,9</b>
➤ na wysypiskach komunalnych	30,6	42,9	45,2	45,5	40,5 <sup>c</sup>
➤ na wydzielonych składowiskach	5,5	11,9	4,8	9,1	7,6
➤ na terenie oczyszczalni	5,5	7,1	–	–	3,8
<b>Wykorzystanie</b>	<b>55,6</b>	<b>35,7</b>	<b>42,8</b>	<b>27,2</b>	<b>42,8</b>
➤ na terenie oczyszczalni	–	9,5	9,5	–	6,1
➤ w rolnictwie	5,6 <sup>a</sup>	4,8	–	–	3,1
➤ do rekultywacji <sup>b</sup>	50,0	21,4	33,3	27,2	33,6
<b>Inne</b>	<b>2,8</b>	<b>–</b>	<b>2,4</b>	<b>9,1<sup>d</sup></b>	<b>2,3</b>
<b>Brak rozwiązań</b>	<b>–</b>	<b>2,4</b>	<b>4,8</b>	<b>9,1<sup>e</sup></b>	<b>3,0</b>
<b>Ogółem oczyszczalni</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

<sup>a</sup> Bez kontroli.

<sup>b</sup> Niwelacja terenów, rekultywacja hałd, hydroobsiew, a także w niewielkim procencie tereny zieleni miejskiej i lasy.

<sup>c</sup> W tym w 7,5% rekultywacja wysypisk.

<sup>d</sup> W tym budowa instalacji spalania.

<sup>e</sup> W tym budowa instalacji przeróbki osadów.

## 2.2. Metale ciężkie w osadach ściekowych

Zawartość metali ciężkich, obok skażeń mikrobiologicznych i toksycznych organicznymi związkami toksycznymi, stanowią podstawowe kryterium przydatności osadów ściekowych do wykorzystania np. w rolnictwie [Bernacka 1995, Bernacka, Pawłowska 1996, 1999, Kempa, Bień 1995, Siuta, Wasiak 1991, Siuta 1999]. Przeprowadzona analiza przepisów obowiązujących w Anglii, Danii, Austrii, Holandii, Niemczech, Szwajcarii i Stanach Zjednoczonych oraz dyrektywy EWG – wykazują, że jednym z najważniejszych kryteriów dopuszczających osady ściekowe do rolniczego wykorzystania jest zawartość w nich metali ciężkich.

Głównym źródłem metali ciężkich w ściekach dopływających do miejskiej oczyszczalni są ścieki przemysłowe. W krajach zachodnich zastosowano przepisy w sprawie warunków odprowadzania ścieków przemysłowych, spowodowały zmniejszenie metali ciężkich w osadach z miejskich oczyszczalni.

Potwierdza to ocena zawartości metali ciężkich: Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Hg, Pb i Zn, w osadach z oczyszczalni ścieków w sześciu miastach w Szwecji w latach 1990÷1996. Stężenia niektórych metali (Cd, Pb, Zn) w osadach ściekowych zmniejszyły się o 30÷75%.

W Polsce na przestrzeni 1993÷1999 lat obserwuje się zmniejszenie ilości metali ciężkich w osadach ściekowych przedstawiono w tabeli 3. [Maćkowiak 1999].

## 2.3. Skażenia mikrobiologiczne i biologiczne osadów ściekowych

Wszystkie odpady powstające na oczyszczalni mogą być skażone bakteriami, wirusami, jajami i formami przetrwalnikowymi pasożytów przewodu pokarmowego.

Patogeny zawarte w surowych osadach ściekowych mogą w warunkach glebowych zachować aktywność przez tygodnie, miesiące a nawet lata.

Czas przeżycia różnych mikroorganizmów w glebie, na roślinności, w osadach, ściekach lub w wodzie przedstawiono w tabelach 5 i 6.

**Tabela 3.** Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych z oczyszczalni komunalnych w Polsce na podstawie badań IUNG przeprowadzonych w latach 1993÷1999 [Maćkowiak 1999]

**Table 3.** Heavy metals content in sewage sludge from municipal sewage treatment plants in Poland on the basis of IUNG research done in 1993÷1999 [Maćkowiak 1999]

Rok	Ilość próbek	Zawartość w %% suchej masy																				
		Mn			Zn			Pb			Cd			Cu			Cr			Ni		
		średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.	średnio	min.	max.
1993	20	435	60	1965	1557	320	2408	115	47	290	4,5	0,9	10,0	165	3	480	96	29	277	36	9,0	90
1994	9	344	229	817	1827	1040	2335	143	97	191	3,0	2,9	7,4	210	64	334	215	21	356	53	7,4	46
1995	13	402	117	1425	1107	298	1974	118	15	308	2,8	0,5	9,6	187	28	595	113	6	454	20	6,3	58
1996	27	309	76	1481	1311	228	2426	94	22	315	3,6	0,8	7,9	148	13	497	138	15	491	33	7,4	70
1997	15	519	75	1466	1274	544	1684	92	5	256	3,2	0,3	6,3	136	15	643	60	5	240	19	3,2	48
1998	43	277	20	739	1083	126	2320	47	8	126	2,8	0,2	9,8	105	13	387	90	5	468	22	1,7	81
1999	22	330	72	1022	1267	255	2190	53	7	135	2,9	0,6	5,3	95	31	499	65	6	210	27	8,8	73
1993-1999	149	350	20	1965	1254	126,1	2426	74	5	315	3,2	0,2	10,0	134	3	643	100	5	491	28	1,7	90



**Tabela 4.** Choroby zakaźne przenoszone drogą wodną [Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków 1997]

**Table 4.** Infectious diseases transmitted with water [Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków 1997]

Mikroorganizmy	Choroby
<b>I. Wirusy i enterowirusy</b>	
zapalenia wątroby A	Zakaźne zapalenie wątroby (HAV)
ECHO	zakażenia odcinka jelitowego przewodu pokarmowego, aseptyczne zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, „przeziębienia” i letnie biegunki dzieci, krwotoczne zapalenia spojówek
Coxackie	aseptyczne zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, choroby układu oddechowego, zapalenie mięśnia sercowego
Polio	paraliże dziecięce – choroba Heinego-Medina, aseptyczne zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych
<b>II. Bakterie</b>	
Shigella	czerwonka bakteryjna
Salmonella	zatrucia pokarmowe, dur brzuszny, paratyfus
Vibrio	cholera
Francisella tularensis	tularemia
Bacillus anthracis	wąglik
Mycobacterium tuberculosis (prątki gruźlicy)	gruźlica
Leptospira	żółtaczką zakaźną, choroba Weila, objawy żółtaczk i zapalenia opon mózgowych
Proteus	zakażenie układu moczowego, zapalenia płuc, zakażenie opon mózgowych, zatrucia pokarmowe, biegunki
<b>III. Pierwotniaki</b>	
Giardia Lambliia	lamblioza (stany zapalne błony śluzowej dwunastnicy i jelit, biegunki)
Entamoeba histolytica	czerwonka pełzakowa (śluzowo krwawe biegunki)
Cryptosporidium	zapalenia błony śluzowej żołądka i jelit, biegunki
<b>IV. Robaki</b>	
Przywry (urzęsione larwy)	schistosomatoza pęcherza moczowego z zapaleniem krwotocznym, brodawczak pęcherza, przetoki pęcherzowe, schistosomatoza jelita z czerwonkopodobnym zapaleniem, marskość wątroby
Glista ludzka	nudności, wymioty, bezsenność, zapalenie płuc, leukocytoza, eozynofilia

**Tabela 5.** Czas przeżycia patogenów w glebie i na roślinach [Marcinkowski 1984, 1993, 1996]

**Table 5.** Outlive time of pathogens in soil and on plants [Marcinkowski 1984, 1993, 1996]

Rodzaj organizmu	Gleba, miesiące	Rośliny, miesiące
Wirusy	3÷6	1÷2
Bakterie	2÷15	1÷12
Robaki	24÷84	1÷5

**Tabela 6.** Przeżywalność niektórych mikroorganizmów chorobotwórczych [Maćkowiak 1984]

**Table 6.** Outlive of some pathogenic micro-organisms [Maćkowiak 1984]

Mikroorganizmy	Okres przeżywalności Środowisko
Prątki gruźlicy ( <i>Mycobacterium tuberculosis</i> )	5÷6 miesięcy – woda rzeczna, ścieki 1 rok – osady ściekowe kompostowane 6 miesięcy – gleba (okres suchego lata)
Salmonella	do 1 roku – ścieki do 1,5 roku – gleba do 1,5 miesiąca – rośliny, warzywa
Laseczki wąglika ( <i>Bacillus anthracis</i> )	powyżej 50 lat – gleba, ścieki, rośliny
Wirusy i Enterowirusy	od kilku tygodni do kilku miesięcy – ścieki
Glista ludzka – jaja	do 6 lat – gleba

Niektóre organizmy chorobotwórcze tworzą formy przetrwalnikowe, aktywne w długim okresie czasu np.: laseczka wąglika wykazuje okres przeżycia w glebie w czasie 20÷30 lat. Poziom skażeń biologicznych może być obniżony w procesach stabilizacji i unieszkodliwiania osadów. Przeglądowy schemat stosowanych procesów przeróbki i unieszkodliwienia osadów przedstawiono na rysunku 1. Na obniżenie ilości bakterii chorobotwórczych wpływa także oczyszczanie biologiczne. Podczas sedymentacji w osadnikach wstępnych bardzo skutecznie usuwane są cysty pierwotniaków i jaj robaków jelitowych. Przyjmuje się, że mechanizm usuwania wirusów i bakterii ze ścieków polega przede wszystkim na ich aglomeracji na cząstkach sedymentujących zawieszin. Zastosowanie w układzie technologicznym oczyszczalni, osadnika wstępnego, powoduje powstanie osadu wstępnego o charakterze zakaźnym przy znacznej koncentracji niektórych patogenów. Fakt ten powinien być brany pod uwagę przy projektowaniu urządzeń do tlenowej (wydzielonej) stabilizacji mieszanych osadów - nadmiernego i wstępnego (surowego o wysokiej zakaźności). Stabili-

zacja osadów w warunkach beztlenowych jest skuteczniejsza, w porównaniu do tlenowej stabilizacji zarówno symultanicznej jak i wydzielonej w odniesieniu do szeregu bakterii i wirusów chorobotwórczych. Liczebność organizmów chorobotwórczych w procesach stabilizacji osadów zostaje w znacznym stopniu obniżona ale helminty nie są w dostatecznym stopniu zredukowane nawet w procesie beztlenowej stabilizacji.

Jaja helmintów wykrywano w osadach nawet po kilku latach ich składowania.

Do ścieków miejskich – poza zakładami lecznictwa zamkniętego i otwartego, laboratoriami i innymi specjalistycznymi zakładami – przedostają się groźne bakterie i wirusy od ozdrowieńców i nosicieli. Od tej grupy mieszkańców ścieki nie są praktycznie odkażane w odróżnieniu od ścieków pierwszej grupy. Dlatego ważna jest znajomość skuteczności usuwania organizmów chorobotwórczych w różnych procesach oczyszczania ścieków, przedstawiona w tabeli 7.

**Tabela 7.** Skuteczność usuwania organizmów chorobotwórczych w różnych procesach oczyszczania ścieków [Maćkowiak 1984, 1996]

**Table 7.** Effectiveness of pathogenic micro-organisms in different processes of sewage treatment [Maćkowiak 1984, 1996]

Proces	Usunięcie [%]			
	wirusy	bakterie	cysty ameby	jaja nicieni
sedymentacja	3	25÷75	-	10÷98
osad czynny	40÷99		-	10÷99
chlorowanie ścieków biologicznie oczyszczonych	-	90÷99	-	-
wapnowanie ścieków do pH = 12	99,99	99	-	26,5
filtry gruntowe	40÷52	95÷98	11,0÷99,9	10÷76

## 2.4. Niszczenie patogenów obecnych w osadach ściekowych

### 2.4.1. Składowanie osadów w lagunach

Proces ten jest najmniej efektywnym sposobem niszczenia organizmów chorobotwórczych. Laguny osadowe wykorzystywane są do fermentacji i odwodnienia osadów oraz do składowania osadów przefermentowanych [Urbanik 1997, Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 1998]. Stosowanie lagun dla osadów surowych jest ograniczone ze względu na ich uciążliwość zapachową oraz plagę much w lecie. Laguny mogą być modyfikowane dla potrzeb hydrafitowej

metody unieszkodliwiania osadów [Helman-Grubba 1999, Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 1998].

#### 2.4.2. Stabilizacja beztlenowa

Poprawnie prowadzona mezofilowa fermentacja metanowa w ciągu 30 dni zapewnia niemal 99% zmniejszenia bakterii chorobotwórczych i całkowite niszczenie cyst pierwotniaków, natomiast jest mało efektywna wobec jaj pasożytów przewodu pokarmowego ludzi i zwierząt.

Z porównania badań fermentacji mezofilowej (35°C) i termofilowej (49°C) wynika, że w pierwszym przypadku zniszczeniu uległo 30÷50% jaj helmintów, a w drugim przypadku około 99%. Można stwierdzić, że najskuteczniejsza jest fermentacja termofilowa prowadzona w temperaturze 45÷49°C.

#### 2.4.3. Stabilizacja tlenowo-beztlenowa

Metoda ta polega na poddaniu osadów, trwającej jedną dobę, stabilizacji tlenowej czystym tlenem lub powietrzem, a następnie fermentacji beztlenowej trwającej 12 dni. W pierwszym etapie następuje podniesienie się temperatury procesu do 57°C, a w drugim etapie (przeróbka termofilowa) temperatura procesu osiąga 35÷55°C. Metoda ta daje pełną stabilizację osadu i wysoki stopień odkażenia.

#### 2.4.4. Pasteryzacja

Pasteryzację stosuje się do osadów zagęszczonych.

Jest to proces odkażania osadów polegający na ogrzewaniu ich do temperatury 60÷80°C w czasie od 30 do 70 minut. Temperatura i czas ekspozycji zależą od sposobu prowadzenia procesu, rodzaju urządzeń, od uwalniania osadów od ilości i rodzaju organizmów chorobotwórczych.

Proces pasteryzacji może być realizowany w różnym miejscu układu technologicznego [Marcinkowski 1996, Urbaniak 1997, Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 1998]:

- przed fermentacją osadu,
- pomiędzy I i II stopniem fermentacji metanowej,
- po fermentacji,
- po stabilizacji tlenowej.

Zastosowanie tej metody winno każdorazowo poprzedzać laboratoryjne testowanie.

#### 2.4.5. Stabilizacja i higienizacja chemiczna

Stabilizacja połączona z higienizacją osadów ściekowych polega na zastosowaniu substancji silnie alkalizujących bądź zakwaszających, które powo-

dużą skuteczną zniszczenie mikroorganizmów chorobotwórczych, pasożytów i różnych form przetrwalnikowych [Bartoszewski 1994, Cwojdziański 1999, Oleszkiewicz 1998, Szpadt 1993].

Wysokie lub niskie pH powoduje zmiany w jonizacji różnych składników białka zwłaszcza w grupach anionowych i karboksylowych. To z kolei powoduje zmianę w strukturze białek w następstwie czego zanika aktywność enzymów.

Do odkażania skratek, osadów, a nawet ścieków (szpitale zakaźne, sanatoria przeciwgruźlicze) stosuje się najczęściej chlor i jego związki np. wapno chlorowane. Szczegółowe informacje zawarte są w specjalistycznej literaturze [Marcinkowski 1984, 1996, 1993, Szpadt 1993, Urbaniak 1996].

Wapno stosowane jest powszechnie jako środek dezynfekcyjny. Stwierdzono w badaniach testowych niszczenie struktury form wegetatywnych bakterii po godzinowej ekspozycji przy  $\text{pH} = 11,0$ . Bakterie jelitowe *Escherichia coli* zawarte w osadzie ściekowym giną przy odczynie  $\text{pH} = 11,5 \div 12,0$ , w temperaturze  $+1^\circ\text{C}$ . Bakterie salmonella ulegają zniszczeniu przy wapnowaniu osadu ściekowego do  $\text{pH} = 11,6$ , w czasie 1 godziny. Podobnie następuje zniszczenie innych bakterii i wirusów w odczynie alkalicznym  $\text{pH} = 10,5 \div 11,5$ . Jednak cysty przetrwalnikowe i jaja pasożytów przewodu pokarmowego ulegają tylko częściowemu zniszczeniu przy  $\text{pH} = 12,0$  i po czasie 48 godzin. Całkowita destrukcja jaj helmintów następuje po dodaniu CaO do odwodnionego osadu w takich ilościach, które powodują wzrost temperatury co najmniej do  $48^\circ\text{C}$ , po czasie około 24 godzin.

Bardziej radykalne działanie wykazuje wapno niegaszone, które reagując z wodą powoduje podwyższenie się temperatury do  $50 \div 60^\circ\text{C}$ . W czasie lasowania wapna wydziela się woda wapienna, która (choć krótkotrwała) przejawia silne działanie toksyczne w stosunku do wszystkich mikroorganizmów.

Wapno w postaci CaO jest trudno rozpuszczalne i ma postać zbryloną, co nie gwarantuje utrzymania jednakowego odczynu w odkażanej masie osadu. W badaniach kontrolnych stwierdzono w ponad 50% próbek pH znacznie mniejsze – poniżej 12. W literaturze podkreśla się potrzebę stosowania wapna sproszkowanego co pozwala uzyskać jednorodny odczyn alkaliczny w osadzie. Podkreśla się, że skuteczną higienizację osadów ściekowych można uzyskać gdy utrzymywana jest wysoka temperatura procesu  $52 \div 62^\circ\text{C}$  i  $\text{pH} = 12,0$ .

Wapno stosuje się w postaci:

- tlenek CaO (wapno palone),
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (wapno hydratyzowane).

Wapno może być stosowane do osadów surowych i ustabilizowanych. W niektórych krajach osad nadmierny poddawany jest procesowi zagęszczania i odwadniania na urządzeniach mechanicznych po czym poddawany obróbce

wapnem palonym. W efekcie uzyskuje się wartościowy nawóz w pełni zhigienizowany (pod warunkiem zachowania w procesie  $\text{pH} = 12$ ).

Zaleca się higienizować lub stabilizować osady odwodnione ze względów ekologicznych. **Wysokie  $\text{pH}$  osadu stabilizowanego wapnem powoduje unieruchomienie metali ciężkich do czasu utrzymania się wysokiego  $\text{pH}$ .** Przyjmuje się dwa warianty wapnowania [Marcinkowski 1984, 1996, Szpadt 1993]:

- wapnowanie osadów przefermentowanych wapnem hydratyzowanym w postaci suspensji lub w postaci pylistej,
- wapnowanie osadu niestabilizowanego (surowego) wapnem palonym.

Dla pełnego osiągnięcia odkażenia osadu podczas wapnowania wapnem palonym należy spełnić określone warunki [Szpadt 1993, Oleszkiewicz 1998]:

- utrzymanie wysokiej temperatury mieszaniny (osad + wapno)  $55 \div 70^\circ\text{C}$  w czasie 24 godzin,
- utrzymanie na początku procesu wysokiego  $\text{pH}$  min. 12,5,
- zachowanie w urządzeniach termoizolacji,
- utrzymanie intensywności mieszania osadu z wapnem,
- doprowadzenie osadu odpowiednio odwodnionego,
- dobrać dawkę i jakość wapna (zwykle po badaniach testujących).

Wprowadzając silną alkalizację środowiska,  $\text{pH} 12,0 \div 12,5$ , następuje zniszczenie organizmów chorobotwórczych i pasożytów.

Orientacyjne dawki wapna wynoszą  $50 \div 60$  g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – postać pylista – na 1 kg osadów odwodnionych do  $U_e = 80\%$ , lub  $30 \div 40$  g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – w postaci suspensji. Podkreśla się, że takie dawki umożliwiają dezodoryzację osadu. Wnosi się jednak zastrzeżenie, że odkażenie osadu przy tych dawkach jest niepełne, ponieważ mogą przetrwać jaja pasożytów oraz przetrwalnikujące formy bakterii chorobotwórczych [Oleszkiewicz 1998].

Zastosowanie wapna palonego do obróbki osadów pozwala na rezygnację z fermentacji osadów, bowiem możliwe jest połączenie procesów stabilizacji i higienizacji – poddając obróbce osad surowy – odwodniony do około 80% [Oleszkiewicz 1998, Szpadt 1993].

W literaturze podawane są różne dawki wapna do higienizacji lub stabilizacji osadów. Dawka rzeczywista wapna palonego dla uzyskania temperatury  $50^\circ\text{C}$  zmienia się od 850 do 410 kg  $\text{CaO}/\text{mg}$  sm osadu – dla temperatury początkowej osadu  $5^\circ\text{C} \div 25^\circ\text{C}$ . Jako średnią dawkę można przyjąć 617 kg  $\text{CaO}/\text{mg}$  sm.

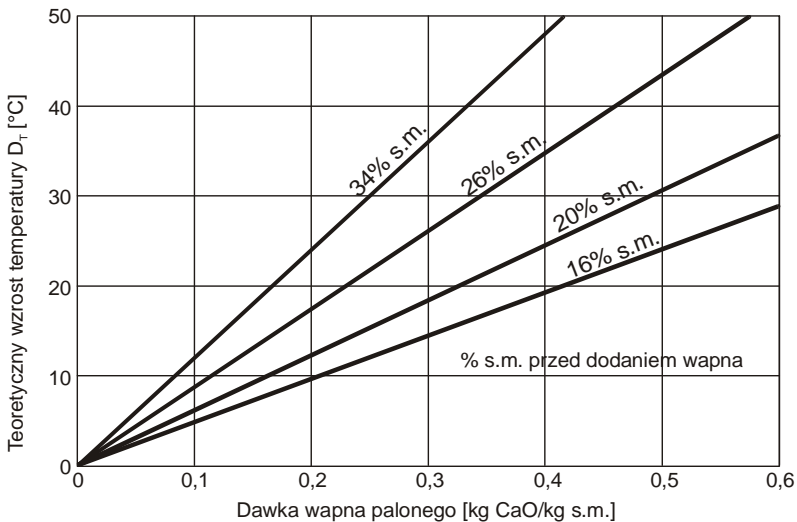
Ilość wapna niezbędnego do podniesienia  $\text{pH}$  i temperatury oraz uzyskiwane odwodnienie osadu można też wyliczyć, posługując się nomogramami sporządzonymi z empirycznych wzorów. Teoretycznie 1 kg  $\text{CaO}$  pochłania w procesie hydratacji 0,32 kg  $\text{H}_2\text{O}$  tworząc 1,32 kg wapna hydratyzowanego. Równocześnie następuje odparowanie wody – w zależności od ilości wydziel-

nego ciepła. Teoretycznie może odparować prawie 0,5 kg H<sub>2</sub>O. Wzrost temperatury  $\Delta T$  zależy od ilości wody w osadzie surowym ( $SM_0$ ) oraz dawki wapna ( $D$  [kg CaO/kg sm]), co obrazuje równanie:

$$\Delta T = \frac{11520 \cdot SM_0 \cdot D}{4190 - 29,3 \cdot SM_0 + 3,2 \cdot SM_0 \cdot D} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Przyjęto ciepło właściwe osadu wynoszące 1,26 kJ/kg·°C.

Na rysunku 2 przedstawiono wzrost temperatury w zależności od dawki wapna i zawartości suchej masy w osadzie.



**Rys. 2.** Wzrost temperatury w zależności od dawki wapna i zawartości suchej masy w osadzie [Oleszkiewicz 1998]

**Fig. 2.** Growth of temperature depending on lime dose and content of dry mass in the sludge [Oleszkiewicz 1998]

Wzrost suchej masy w osadzie po dodaniu wapna palonego można teoretycznie obliczyć:

$$SM_K = \frac{SM_0 \cdot (1 + 1,31 \cdot D)}{1 + 0,0075 \cdot D \cdot SM_0}$$

Po odwodnieniu osadu zawarte w nim wapno dalej reaguje z dwutlenkiem węgla, tworząc węglan wapnia. Powoduje to dalszą stabilizację osadu i wzrost jego odporności mechanicznej na ścinanie.

Z 1,32 kg  $\text{Ca(OH)}_2$  powstaje 1,78 kg  $\text{CaCO}_3$  + 0,32 kg  $\text{H}_2\text{O}$  + 2 215 kJ energii, która jest używana do dalszego suszenia osadu.

W literaturze podawane są dawki wapna zależnie od czynników: wymaganego stopnia higienizacji, rodzaju osadu, stężenia suchej masy w osadzie i jego zasadowości. W tabeli 8 przedstawiono dawki wapna dla różnych osadów.

**Tabela 8.** Dawki wapna w kg  $\text{Ca(OH)}_2$ /kg s.m. osadu dla utrzymania  $\text{pH}>11$  przez 2 tygodnie w różnych osadach [Oleszkiewicz 1998]

**Table 8.** Doses of lime in kg of  $\text{Ca(OH)}_2$ /kg sludge dry mass to keep  $\text{pH}>11$  for 2 weeks in different sludges [Oleszkiewicz 1998]

Osad	Dawka kg $\text{Ca(OH)}_2$ /kg s.m.
Wstępny	0,1÷0,15
Nadmierny	0,3÷0,5
osad wstępny z osadem siarcz. glinu	0,25÷0,4
po koagulacji związkami żelaza	0,35÷0,6
po koagulacji siarczanem glinu	0,4÷0,6

#### 2.4.6. Chemiczna dezynfekcja połączona z otrzymywaniem nawozu granulowanego

W literaturze prezentowana jest metoda aktywnej pasteryzacji Bernarda. Gazowy amoniak wprowadza się do odwodnionego osadu – o zawartości suchej masy 12÷15% s. m. – w ilości 4%. W wyniku reakcji egzotermicznej temperatura osadu podnosi się do około 50°C a wartość  $\text{pH}$  osiąga 11,6. Po 5÷10 minutach następuje neutralizacja alkalicznego osadu kwasem fosforowym, co jeszcze bardziej podnosi temperaturę osadu do 65°C. Po kilkunastu minutach otrzymuje się pasteryzowany nawóz zawierający około 2,5% N i 5% P.

Przykład swoistej higienizacji osadów po fermentacji, z jednoczesnym przeprowadzeniem metali ciężkich w formy trudnorozpuszczalne związki chemiczne – jest opatentowany sposób [P. 169484], znamienny tym, że miesza się w odpowiednim stosunku osad ściekowy po fermentacji z pyłem cementowym i wyprazonym dolomitem [Urbaniak 1997].

Omawiając problem higienizacji osadów ściekowych należy uwzględnić złożoną systematykę i klasyfikację osadów; [Kempa 1976, Kempa, Bień 1995]. Substancje organiczne osadów ściekowych stanowią mieszaninę różnych związków chemicznych wchodzących w skład biomasy mikroorganizmów, resztek ciał stałych (substancje mineralne), substancji humusowych oraz wolnych związków organicznych. Ponadto osad stanowi mieszaninę organizmów



chorobotwórczych, ich form przetrwalnikowych, jaj, białek i struktur białkowych niższych rzędów umożliwiających przenoszenie informacji genetycznych. Skuteczność unieszkodliwiania osadów ściekowych musi zapewnić trwałe uszkodzenie struktur komórkowych oraz zniszczenie struktur białek i aminokwasów prowadzących do ich trwałego unieczynnienia. Struktury białkowe ulegają zniszczeniu w wyniku plazmolizy, denaturacji struktur białkowych, hydrolizy kwasowej białek oraz ich częściowej mineralizacji – polegającej na amonifikacji powstałych ze struktur wyższego rzędu aminokwasów. Niszczenie struktur komórkowych mogą dokonywać:

- środowiska kwaśne, stosując kwasy nieorganiczne np.: kwas azotowy, fosforowy a także kwasy organiczne np.: kwas octowy oraz kwas nadoctowy o silnych właściwościach bakteriobójczych stosowany do odkażania sieci i urządzeń wodociągowych,
- wyższe temperatury 60÷80°C,
- ultradźwięki [Bień 1986, Bień, Nowak 1993].

Opracowano oryginalną metodę higienizacji osadów z równoczesnym otrzymywaniem granulatu nawozowego z osadów ściekowych [Cwojdzński i inni 1999]. Poprzez dodawanie do płynnego osadu ściekowego stężonego kwasu siarkowego (w odpowiedniej proporcji – wskutek reakcji egzotermicznej – temperatura mieszaniny podwyższa się do około 100°C. Powoduje to totalne zniszczenie mikroorganizmów i wszelkich form przetrwalnikowych. W wysokiej temperaturze i wobec silnego zakwaszenia następuje głęboka denaturacja białek i amonifikacja azotu ze związków organicznych, w tym również kwasów nukleinowych. Ilość kwasu siarkowego jest tak dobrana względem ilości zawiesiny osadu ściekowego, aby ilość powstających cząstek soli siarczanu magnezu, mogła związać zawartą w osadzie ilość wody. Znany hydratem wiążącym cząsteczki wody jest właśnie siarczan magnezu. Dlatego najlepszym związkiem neutralizującym – dla danego medium zakwaszonego – jest tlenek magnezu.

Technologia jest zastrzeżona zgłoszeniem patentowym (P. 326127/1998) a polega na tym, że do reaktora z mieszadłem wprowadza się 220 g osadu ściekowego o zawartości 19% s.m., poczym dodaje się 127 g 96% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Uplynniona jednorodna (poprzez mieszanie) mieszanina osiąga wysoką temperaturę do około 100°C. Po 30 minutach zostaje zneutralizowana, przy użyciu 55 g MgO. W czasie reakcji – po kolejnych 30 minutach – wydziela się para a mieszanina gęstnieje i ma postać granulatu bezkształtnego lub, w miarę potrzeby, ukształtowanego mechanicznie granulatu [Cwojdzński i inni 1999].

#### 2.4.7. Kompostowanie

Kompostowanie może być skutecznym rozwiązaniem gospodarki osadowej na małych oczyszczalniach ścieków zastępując procesy stabilizacji zarówno tlenowej jak i beztlenowej oraz końcowe odwodnienie i higienizację

osadów. Kompostownie mogą być organizowane w systemowym grupowym sposobie unieszkodliwiania osadów np. jako obiekty miejskie lub gminne.

Jako niezbędne warunki dla prawidłowego kompostowania osadów ściekowych wymienia się [Siuta, Wasiak 1991, 1994, Siuta 1999]:

- duża zawartość części organicznych i określony stosunek osadu do materiałów uzupełniających,
- stosunek w mieszaninie C:N = 25÷65,
- temperatura kompostowania 55÷60°C,
- wilgotność w mieszaninie kompostowej 50÷60%,
- dobre doprowadzenie powietrza, 300 m<sup>3</sup>/t s.m.·h, w czasie największej aktywności i temperaturze 60°C; średnią wartość podaje się 90÷160 m<sup>3</sup>/t s.m.·h,
- jako skuteczny czas kompostowania przyjmuje się minimum 21 dni (czasami 30 dni),
- długość okresu dojrzewania – 10÷30 dni,
- zapotrzebowanie tlenu dla kompostu ustabilizowanego winno być mniejsze od 1,0÷1,5 g O<sub>2</sub>/kg s.m.·d.

Osady ściekowe mają stosunek C:N zależnie od ich pochodzenia [Oleszkiewicz 1998]:

- osad wstępny – C:N = 11,
- osad nadmierny – C:N = 6,3.

Dla osadów przed kompostowaniem można ustalić ile należy dodać materiału strukturotwórczego np. wg tabeli 10. Zakładając, że osad surowy odwodniony będzie miał (po zmieszaniu) 40% s.m., przy gęstości 980 kg/m<sup>3</sup> oraz gęstości materiału strukturotwórczego 474 kg/m<sup>3</sup>. Można zauważyć, że ilość dodawanego materiału strukturotwórczego zależy od zawartości w nim s.m. oraz wartości ilorazu C:N, co ilustruje tabela 9.

W całym cyklu kompostowania wyróżnia się trzy fazy biotermiczne:

- I – bardzo intensywny rozkład substancji organicznej powodujący wzrost temperatury do 60÷75°C,
- II – intensywny, malejący w czasie rozkład substancji organicznej, powodujący sukcesywny spadek temperatury do 30÷40°C,
- III – spowolnienie procesu rozkładu substancji organicznej i spadek temperatury do poziomu temperatury otoczenia.

Do kompostowania mogą być skierowane różne osady: surowe (wstępne), przefermentowane, osady mieszane (wstępne i nadmierne), osady odwodnione. Osady te mogą być w różnym stopniu ustabilizowane.

**Tabela 9.** Przykłady materiałów strukturotwórczych w kompostowaniu osadów [Oleszkiewicz 1998]

**Table 9.** Examples of structure creating materials in sludge composting [Oleszkiewicz 1998]

Materiał	Stosunek C:N
Odpady komunalne	20÷80
Wióry drewniane	270+
Trociny	442
Słoma	80
Słoma z pszenicy	128
Świeże liście	40÷80

**Tabela 10.** Przykład obliczania ilości materiału strukturotwórczego [Oleszkiewicz 1998]

**Table 10.** Example of calculating structure creating material amount [Oleszkiewicz 1998]

s.m. płacka osadu %	s.m. materiału dodawanego %	Stosunek mieszanki m <sup>3</sup> materiału/m <sup>3</sup> płacka
16	55	3,30
20	55	2,75
26	55	1,92
20	45	8,33
20	60	2,08

W czasie przeprowadzonych badań kontrolnych stwierdzono, że w kompostowanym, prefermentowanym osadzie ściekowym łącznie z odpadami miejskimi, korą lub trocinami, po ponad dwudziestu dniach prowadzenia procesu w przedziale temperatur 62÷75°C uzyskano całkowite zniszczenie testowanych wirusów, bakterii i jaj robaków jelitowych. W innych warunkach doświadczalnych uzyskano zniszczenie bakterii z rodzaju salmonella i robaków jelitowych *Ascaris suum* po 24 godzinach, w temperaturze 65÷75°C. Podobne wyniki uzyskano w nieco niższej temperaturze 49÷(-37)°C, ale po 72 godzinach tradycyjnego kompostowania osadów ze słomą, zniszczenie testowanych organizmów chorobotwórczych uzyskano po osiągnięciu temperatury 60°C. Siedem tygodni kompostowania przy temperaturze 60°C daje gwarancje pełnego zniszczenia organizmów chorobotwórczych.

W stosie kompostowym kontrolowane są parametry: temperatura, natlenienie, wilgotność. Przykładowo zawartość tlenu waha się od 18 do 1% O<sub>2</sub> – co zapewnia dmuchawa o pracy przerywanej. Odsysanie powietrza wynosi 9,0÷130 m<sup>3</sup>/t s.m.h i jest kierowane do dezodoryzacji. Filtr oczyszczający powietrze składa się z dojrzałego kompostu, wiórów, trocin, itp. Stos pracuje w systemie porcjowo-ciągłym. Surowa mieszanka osadu + dodatki dostarczana

jest na początku stosu, a gotowy kompost odbierany jest na końcu stosu. Schemat stosu kompostowego przedstawiono na rysunku 3.

Kompostownie te mają szereg zalet [Oleszkiewicz 1998]:

- ekonomiczna w porównaniu do innych metod,
- niski koszt eksploatacji w porównaniu do kompostowni – reaktorów,
- zalecana i opłacalna dla przepustowości od 0,5 do 100 t s.m./d,
- specyficzny sposób napowietrzania (zasysanie powietrza z przyzmy) zmniejsza do minimum udział odorów,
- osady uzyskują pełną stabilizację i higienizację,
- stopy mogą być zadaszone lub lokalizowane na otwartym terenie.

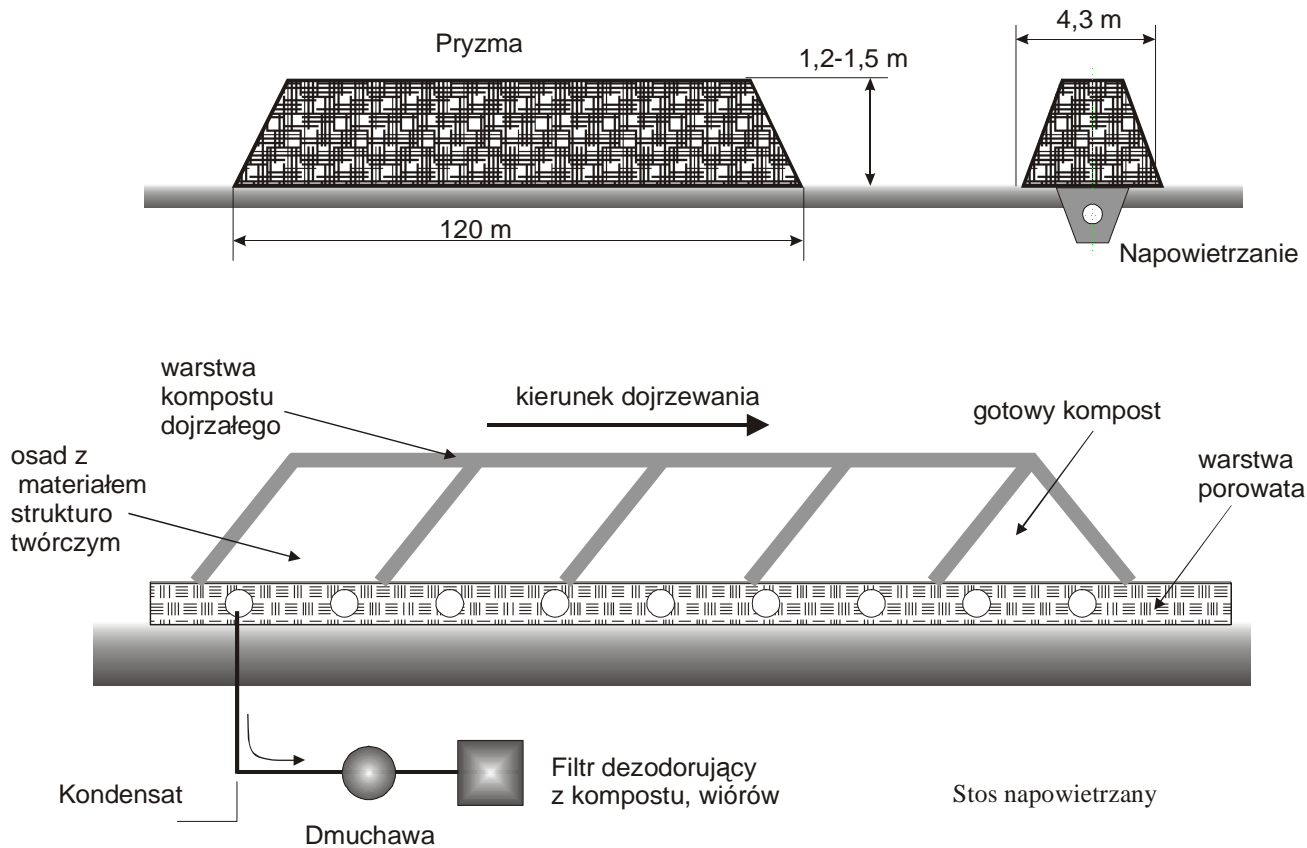
W Stanach Zjednoczonych, kompost bezpieczny to taki, który spełnia określone warunki [Oleszkiewicz 1998, Szpadt 1993]:

- temperatura masy kompostowej utrzymuje się powyżej 55°C w czasie 3 dni (w reaktorach lub przyzmach napowietrzanych),
- temperatura masy kompostowej utrzymuje się powyżej 55°C w ciągu 15 dni (w przyzmach nienapowietrzanych aktywnie, ale przemieszanych co najmniej pięciokrotnie).

W krajach zachodnich stosuje się wysoką intensywność napowietrzania przyzmy kompostowych. Uznaje się, że ten zabieg zapewnia utrzymanie się wysokiej temperatury w granicach 55÷60°C, powodując szybszy rozkład substancji organicznej a przy tym skuteczne suszenie kompostu. W razie wytwarzania się uciążliwych odorów – zwłaszcza przy obróbce surowych osadów – konieczna jest dezodoryzacja przyzmy.

W małych i średnich oczyszczalniach może być stosowane kompostowanie przyzmy. Przy mieszaniu osadów ze słomą, trocinami powinno być utrzymane uwodnienie mieszaniny 50÷60%, a stosunek węgla do azotu organicznego 26/1, optymalna temperatura w przyzmy wynosi około 60°C przez okres około 3 dni. Niekorzystny stosunek C/N lub zbyt intensywne napowietrzanie może obniżyć temperaturę procesu. Zalecana intensywność napowietrzania wynosi 20÷50 m<sup>3</sup> powietrza/1000 kg s.m. Sumaryczny czas kompostowania i dojrzewania kompostu w systemie przyzmywym wynosi do 6 miesięcy.





**Rys. 3.** Kompostowanie w pryzmach i stosie napowietrzonym – rozwiniętym [Oleszkiewicz 1998]

**Fig. 3.** Composting in heaps and aerated pile – expanded [Oleszkiewicz 1998]



Rozróżnia się różne sposoby kompostowania:

- naturalne kompostowanie w przyzmach z przerzucaniem (napowietrzaniem),
- statyczne kompostowanie w przyzmach z napowietrzaniem,
- częściowo zamknięte systemy basenowe,
- stabilizacja alkaliczna i kompostowanie w przyzmach,
- kompostowanie w zamkniętych komorach.

Metoda przyzmaowa polega na uformowaniu przyzmy z osadów ściekowych wraz z materiałem strukturotwórczym i okresowym przemieszaniem tych przyzm w celu ich napowietrzenia. Może być stosowane wymuszone napowietrzanie i samoczynne napowietrzanie połączone z przemieszaniem przyzmy.

Wadą tej metody jest:

- duże zapotrzebowanie terenu,
- wydzielanie się odorów,
- zależność od warunków atmosferycznych,
- trudność utrzymania odpowiednio wysokiej temperatury,
- trudności w utrzymaniu wyrównanej wilgotności w całej przyzmie.

Pryzmowe kompostownie przy małych oczyszczalniach nie są w stanie wyprodukować dobrego kompostu – jest przez to on niepewny pod względem sanitarnym. Zbyt małe przyzmy nie stwarzają warunków procesowych na tyle, aby temperatura (w przyzmie) mogła się utrzymać w zakresie 55÷60°C. Przyzma przemieszana nieregularnie i wystawiona na działanie niskiej temperatury, najczęściej jest niedostatecznie napowietrzona i nie ma optymalnego uwodnienia (50÷60%), nie stwarza warunków dla intensywnego rozwoju mikroorganizmów w masie kompostowej. **Utrzymanie się wysokiej temperatury przez określony czas w przyzmie – ma podstawowe znaczenie dla pełnej higienizacji osadu.**

Dla osadów pochodzących z małych oczyszczalni ścieków, przykładowo o przepustowości 2000÷4000 m<sup>3</sup>/d, optymalnym sposobem unieszkodliwienia może być statyczne kompostowanie z napowietrzaniem. Napowietrzenie statyczne jest bardzo popularną metodą kompostowania. Dzięki wymuszonemu napowietrzeniu eliminuje się przerzucanie masy kompostowej. Powietrze dostarczane jest do przyzmy perforowanym przewodem z tworzywa sztucznego (dren saturacyjny) o średnicy 50 mm – za pomocą wentylatorów małej mocy. Przewód jest osłonięty geowłókniną. Osady ściekowe poddawane temu procesowi powinny być zmieszane z odpowiednimi dodatkami w stosunku 2:1. Mieszanie osadów z dodatkowym substratem jest konieczne, zapewnia stabilność procesów mikrobiologicznych. Zwykle stosowane dodatki to: słoma, trociny, kora, papier, inne odpadki organiczne (np.: zsitki, skratki).

Uwodnienie osadów powinno wynosić:

- 75÷80% przy dodatku materiałów wilgotnych (liście, rośliny, materiał zielony),
- 85÷90% przy stosowaniu odpadów z przeróbki drewna (kora, trociny).



Typowy cykl kompostowania trwa 30÷50 dni, po czym materiał kompostowany składowany jest przez kilka miesięcy, w celu dokończenia procesu rozkładu. Napowietrzenie niezbędne jest dla prawidłowego przebiegu przemian przy udziale mikroorganizmów, napowietrzanie przyspiesza proces rozkładu substancji organicznych.

Kompostowanie definiowane jest jako termiczny proces biochemiczny powodujący mineralizację substancji organicznej, a następnie jej humifikację, co w efekcie prowadzi do wytworzenia nawozu zwanego kompostem. Proces powoduje zmniejszenie masy, objętości, zawartości wody i pełne unieszkodliwienie mikroorganizmów patogennych.

Zmodyfikowany sposób kompostowania dotyczy przeróbki mieszaniny osadów ściekowych z wapnem palonym w cyklu jednorocznym [Herman 1993]. W pierwszej fazie mieszaninę osadów z wapnem układa się w pryzmach o niewielkiej wysokości  $h_1 = 1,0$  m, na okres 6 miesięcy. Po tym czasie mieszaninę tę można wzbogacić w substancje organiczne (torf, trociny itp.) oraz w substancje nawozowe zawierające N, P, K – co stwarza optymalne warunki dla zachowania niezbędnej proporcji C/N. W drugiej fazie następuje kompostowanie w podwyższonych pryzmach,  $h_2 = 2,0$  m, w okresie 6 miesięcy. Konieczne jest w tym czasie raz w miesiącu przemieszczenie pryzmy, dzięki temu nie jest wymagane dodatkowe napowietrzanie pryzmy kompostowej.

Inny sposób kompostowania osadów ściekowych z alkalizacją – w kompostowni pryzmowej zakłada się, że pryzmę układa się z naprzemiennych warstw: 1 cm wapna palonego na 5 m  $\pm 1,5$  m [Siuta, Wasiak 1991]. Alkaliczna higienizacja osadu ściekowego w pryzmie trwa kilka dni, po czym pryzmę przemieszcza się i formuje nową o zmniejszonej wysokości,  $h_2 = 0,3\div 0,5$  m. Po 2÷3 tygodniach następuje ponowne przemieszczenie pryzmy.

Agrotechniczny sposób przetwarzania osadów ściekowych z końcową obróbką w kompostowni polega na wnoszeniu odwodnionego osadu ściekowego pod uprawy w warunkach gruntowych.

Na wniesionej warstwie osadu,  $h_1 = 0,3$  m uprawia się rośliny w ciągu 3÷5 lat. Następnie wnosi się kolejną warstwę i powtarza się okres uprawy. Zebrane rośliny przerabia się na kompost. W miarę upływu lat – osad ściekowy zalegający w głębszych warstwach, ulega humifikacji i mineralizacji [Siuta 1999, Siuta 1999].

Sposób ten oparty na pierwotnych doświadczeniach i opisany przez Siutę i Wasiak został potem zastosowany na osadach z miejskiej oczyszczalni ścieków w Lublinie [mikrobiolodzy i biochemicy: Suchanek, Kurek, Słomka 1999]. Na pięciu kwaterach, na powierzchni 1 ha, naniesiono osad o zróżnicowanych warstwach: 5 – 10 – 15 – 20 i 30 cm. Osady ściekowe zawierały metale ciężkie: Cd – 84 mg/ s.m., Zn – 5000 mg/kg s.m.,  $Cr^{3+}$  – 158 mg/kg s.m., Cu – 256 mg/kg s.m., Ni – 125 mg/kg s.m., Pb – 56 mg/kg s.m. Kwatery obsiano trawą. Badania kontrolne wykazały, że sposób przekształcania osadów ściekowych (odwodnionych

*Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska* ————— 93

na prasach) na kompost jest efektywne. Najlepsze efekty dają naniesione warstwy osadu o wysokości – 30 cm. Stwierdzono też, że stężenie metali ciężkich – Cd i Zn – przekraczały poziom dopuszczalny dla osadów przeznaczonych do rolniczego wykorzystania. Uznano, że sposób ten wzbogaca glebę w warstwę próchniczą, co może mieć znaczenie na terenach zdegradowanych.

### 3. Unieszkodliwianie osadów

#### 3.1. Przykład wykorzystania kompostowni miejskiej do unieszkodliwiania osadów [Łojko 1999]

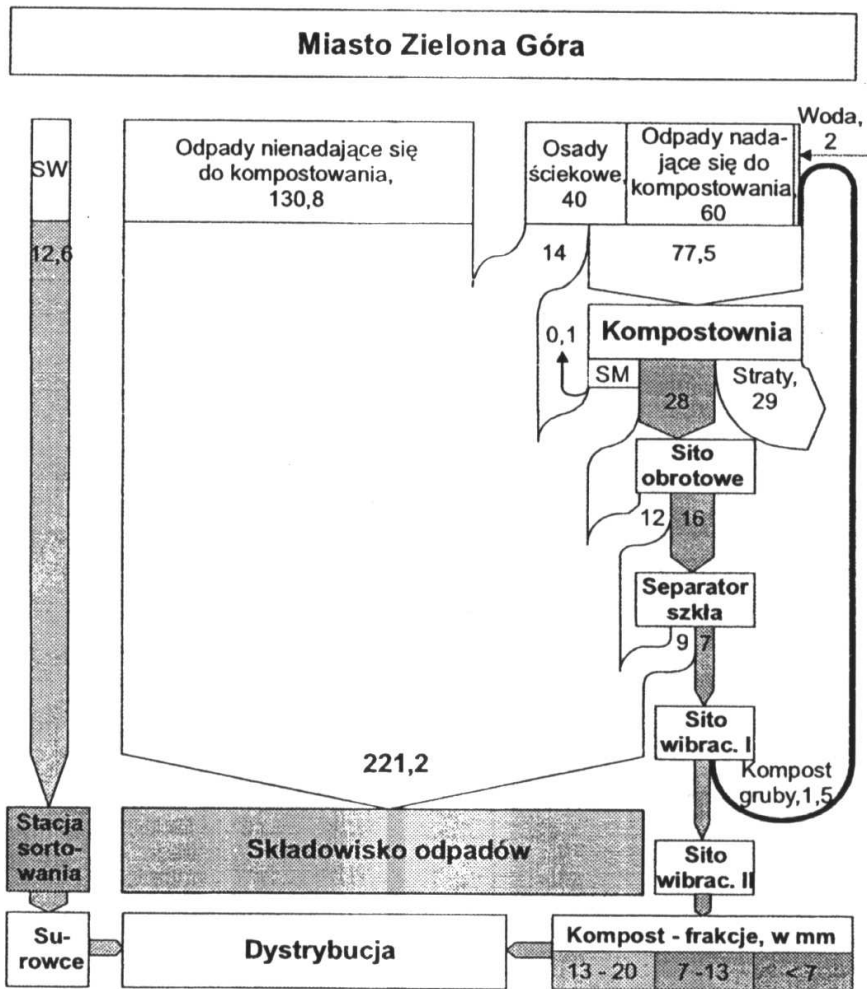
Miejska oczyszczalnia ścieków dla Zielonej Góry z zastosowaniem cyrkulacyjnych komór z osadem czynnym posiada przepustowość  $Q = 51255 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $R_M = 195000$ . W schemacie technologicznym na rys. 7 brak osadnika wstępnego. W drugim etapie przewiduje się budowę osadników wstępnych i stabilizację osadu w komorach fermentacyjnych.

Osad nadmierny zagęszczony – w zagęszczaczach grawitacyjnych ( $t = 3$  doby), poddawany jest kondycjonowaniu przy użyciu soli żelaza ( $\text{Fe}^{3+}$ ) + polielektrolitu i ewentualną korektę pH za pomocą mleka wapiennego – po czym odwodniony jest na prasach filtracyjnych. Odwodniony osad do wartości średniej 29,5% s.m., wywożony jest do kompostowni miejskiej. Jest to nietypowy przykład nowej generacji oczyszczalni o dużej przepustowości, gdzie w pierwszym etapie zastosowano uproszczony schemat gospodarki osadowej łącznie z ciekawym sposobem unieszkodliwiania osadu nadmiernego na wspólnej miejskiej kompostowni.

Wybudowana kompostownia komorowa jest oparta na polskiej oryginalnej technologii – opracowanej przez BIPROWOD – Warszawa [Łojko 1999]. Ciąg technologiczny składa się z czterech komór:

1. zbiornik magazynowy, M,
2. zbiorniki do leżakowania odpadów (A, B, C).

Wybudowano 6 ciągów technologicznych zgrupowanych w dwa zespoły po trzy ciągi. Do każdego zespołu przylega jedna zasobnia na ustabilizowane osady. Kompostowaniu poddawane są odpady komunalne oraz część osadów ściekowych z miejskiej oczyszczalni ścieków. Bilans masowy procesu kompostowania przedstawiono na rys. 4. W ciągu doby przerabia się około 60 Mg odpadów komunalnych i 40 Mg osadów ściekowych o uwodnieniu około 65%. W komorach magazynowych odpady przetrzymywane są w czasie 9÷12 dni. Czas leżakowania w kolejnych komorach (A, B, C) wynosił 7÷10 dni. Sumaryczny czas procesu wynosił – 28 dni.



Rys. 4. Schemat unieszkodliwiania odpadów w Zielonej Górze, bilans dobowy w Mg [Jędrzak, Janka 1999]

Fig. 4. Diagram of sludge neutralising in Zielona Góra, day balance in Mg [Jędrzak, Janka 1999]

Wyniki badań składu mieszaniny kompostowej – przed i po procesie – potwierdzają wysoką dynamikę przemian biochemicznych, w wyniku czego nastąpiło obniżenie zawartości substancji organicznej o około 31,5%.

W czasie badań stwierdzono, że temperatura przetwarzanych odpadów (masy kompostowej) była wyższa od 60°C, osiągnęto ją po 6 dniach trwania procesu, utrzymywała się ona na tym poziomie do czasu przeniesienia masy do

komory C. Stwierdzono, że proces biochemicznego rozkładu substancji przebiegał z dobrą wydajnością (rozkład 31,5% s.m.o). Ilorazy C:N i C:P w odpadach do kompostowania – mieściły się w granicach C:N od 25:1 do 35:1.

Kompost wykazywał brunatną barwę, zapach świeżej ziemi ogrodowej i gruzelkową strukturę. Zawierał powyżej 44% substancji organicznej, ponad 1% azotu oraz stosunkowo dużo fosforu i potasu. Średni skład chemiczny surowców i produktów z kompostowni oraz kompostów przedstawiono w tabeli 11.

**Tabela 11.** Skład chemiczny surowców i produktów w kompostowni w Zielonej Górze [Jędrzak, Janka 1999]

**Table 11.** Chemical composition of raw materials and products in composting plant in Zielona Góra [Jędrzak, Janka 1999]

Składniki	Jednostka	Odpady komunalne	Surowiec do kompostowania	Odpady po kompostowaniu	Balast	Części twarde	Kompost
Wilgotność	%	51,1	56,6	27,8	21,4	26,3	31,4
Subst. org.	% s.m.	63,8	65,2	44,7	66,2	29,04	31,4
C <sub>org</sub>	% s.m.	21,4	24,7	16,4	20,1	11,1	15,4
Azot og.(N)	% s.m.	0,92	1,20	1,01	1,18	0,8	1,04
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% s.m.	0,75	0,92	0,77	1,1	0,43	0,65
Potas (K <sub>2</sub> O)	% s.m.	0,42	0,41	0,42	0,38	0,45	0,45
C\N		23	21	16	17	14	15
C\P		65	61	49	42	59	54

Zainteresowanego czytelnika problematyką sposobów przyrodniczego zagospodarowywania osadów w tym przetwarzania odsyła się do prac profesora Siuty publikowanych i przedstawianych na licznych konferencjach [m.in. J. Siuta Poznań oraz Puławy 1999].

### 3.2. Hydrofitowa metoda unieszkodliwiania osadów ściekowych [Helman-Grubba 1999]

Pod względem konstrukcyjnym hydrofitowe obiekty do przeróbki osadów ściekowych przypominają tradycyjne poletka odwadniające. Różnica polega na podwyższonej wysokości bocznych ścian do  $h = 1,0$  m, powy-

żej powierzchni poletka. Wewnątrz obiektu ukorzenione są rośliny bagienne (głównie trzcina), które okresowo zalewane są warstwą osadu. Korzenie i kłaczka przerastają warstwę osadu, czerpiąc z niej wodę i składniki odżywcze. W ten sposób powierzchnie złoża stopniowo podnosi się osiągając po 8÷10 latach wysokość złoża  $h = 1,0$  m. Po tym czasie zhumifikowany (glebopodobny) bezpieczny osad usuwa się, a złożo ponownie obsadza się roślinnością bagienne. Proces odwadniania osadów przebiega około 300 razy szybciej niż na tradycyjnych poletkach osadowych. W zależności od rodzaju osadu,  $1 \text{ m}^2$  złoża trzcinowego można obciążyć osadem od  $1,5 \div 6$  MR.

Na złożu oprócz odwadniania, mineralizacji i higienizacji osadu następuje obniżka zanieczyszczeń w odciekach i w porównaniu do mechanicznego odwadniania:

- około 10 razy mniej azotu,
- około 70 razy mniej BZT<sub>5</sub>,
- około 20 razy mniej ChZT.

W oczyszczalniach hydrofitowych (trzcinowych) stwierdzono znaczne usuwanie metali ciężkich:

- Pb – 72,2%,
- Cd – 81,7%,
- Cu – 69,6%,
- Zn – 66,9%,
- Mn – 70,6%.

Są one zatrzymywane przez system korzeniowy trzciny [Obarska-Pempkowiak, Klimkowska 1998, Gajewska, Obarska-Pempkowiak 1999, Obarska-Pempkowiak 1996].

Rozwiązania wyżej opisane stosowane są w Europie, w Niemczech, Danii, Francji, Wielkiej Brytanii a ostatnio także w Polsce.

## Literatura

**Bartoszewski K. 1994:** Technologia oczyszczania ścieków i przeróbki osadów stosowana w warunkach krajowych. Ochrona Środowiska Nr 3.

**Bernacka I., Pawłowska L. 1994:** Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.

**Bernacka I. 1995:** Wytyczne przyrodniczego wykorzystania osadów z miejskich oczyszczalni ścieków. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.

**Bernacka J., Pawłowska L. 1999:** Uwarunkowania jakościowe nieprzemysłowego wykorzystania osadów. Konferencja nt. Nieprzemysłowe (przyrodnicze) wykorzystanie osadów ściekowych. Poznań.

**Bień J., Nowak D. 1993:** Badania nad wykorzystaniem pola ultradźwiękowego do odkażania osadów ściekowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* Nr 8/1993.

**Biernacka I., Pawłowska L. 1996:** Przeróbka i zagospodarowanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków – ocena sposobów oraz kierunków rozwiązań. *PZiTS. Poznań*.

**Cwojdzński i inni 1999:** Technologia otrzymywania i własności agrotechniczne nawozu otrzymanego na bazie osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Koszalińskiej* Nr 15.

**Cywiński B., Gdula S., Kempa E., Kurbiel I., Płoszański H. 1983:** Oczyszczanie ścieków. Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne. *Arkady, Warszawa*.

**Gajewska M., Obarska Pempkowiak H. 1999:** Określenie możliwości nityfikacyjnych złóż pionowych w oczyszczalni hydrofitowej. *Materiały z X Międzynarodowej Konferencji nt. „Problemy Gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”*, Augustów.

**Helman-Grubba M. 1999:** Wykorzystanie metody hydrofitowej do rozwiązywania problemów gospodarki osadowej, w nowych i modernizowanych oczyszczalniach ścieków dla 500÷25000 RM. *II Seminarium Szkoleniowe PZiTS pt. Modernizacja i eksploatacja małych oczyszczalni ścieków. Poznań – Kiekrz*.

**Kempa E., Bień J. 1995:** Problemy przeróbki osadów ściekowych. *I Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalni ścieków”*. Częstochowa.

**Kempa E. 1995:** Modelowy osad ściekowy – teoretyczne uwarunkowania a techniczna realność. *I Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalni ścieków”*. Częstochowa.

**Kempa E. 1996:** Osady ściekowe – odpad czy produkt oczyszczania ścieków. *Konferencja N-T „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”*. Częstochowa.

**Kempa E. 1985:** Osady ściekowe i odpady stałe w środowisku. *Seminarium PZiTS i Uniwersytet w Stuttgarcie. Poznań*.

**Kempa E. 1968:** Procesy całkowitego unieszkodliwiania osadów ściekowych z małych jednostek osadniczych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2/1968.

**Kempa E. 1976:** Systematyka osadów ściekowych. *Monografia 35, 12. Politechnika Wroclawska. Wrocław*.

**Korytkowski I. 1996:** Regulacje Unii Europejskiej dotyczące osadów ściekowych i przewidywane formy ich realizacji. *Konferencja Politechniki Częstochowskiej „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”*, Częstochowa.

**Kowalik A. L., Obarska-Pempkowiak H. 1997:** Oczyszczanie wód i ścieków w systemach hydrofitowych. *Materiały szkoleniowe. Systemy projektowania, budowy i eksploatacji oczyszczalni ścieków na złożach gruntowo-roślinnych. Warszawa*.

**Kowalik P. 1996:** Możliwość energetycznego wykorzystania osadów ściekowych przez ich granulację ze słomą i współstrącanie z węglem. *Konferencja Politechniki Częstochowskiej „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”*, Częstochowa.

**Łojko I. 1999:** Sole  $Fe^{3+}$  w oczyszczalni Łącza – oczyszczalnia ścieków dla Zielonej Góry. *Konferencja N-T pt.: „Rok 2000 na oczyszczalniach ścieków”*. Szczecin – Mielno.

- Łomatowski I., Szpindor A. 1999:** Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, Warszawa
- Maćkowiak Cz. 1999:** Właściwości nawozowe osadów ściekowych. Konf. nt. Nieprzemysłowe (przyrodnicze) wykorzystanie osadów ściekowych. Poznań.
- Marcinkowski T. 1993:** Kompostowanie osadów ściekowych oraz odpadów z zakładów drobiarskich. Konferencja Politechniki Częstochowskiej „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”. Częstochowa.
- Marcinkowski T. 1984:** Odkazanie osadów ściekowych tlenkiem wapniowym. Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska. Wrocław.
- Marcinkowski T. 1996:** Procesy stabilizacji osadów a efektywność niszczenia organizmów patogennych. Konferencja N-T „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”. Częstochowa.
- Marcinkowski T. 1993:** Stabilizacja wapnem osadów ściekowych i odpadów. Konferencja N-T pt.: „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków”, Częstochowa.
- Obarska-Pempkowiak H., Klimkowska K. 1998:** Usuwanie pierwiastków śladowych ze ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach trzcinowych w Przywidzu. Sympozjum szkoleniowe pt. „Znaczenie procesów jednostkowych w technologii oczyszczania wody i ścieków” Szkoła Jakości Wody, Koszalin-Ustronie Morskie.
- Obarska-Pempkowiak H. 1996:** Analiza efektywności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach wodno-roślinnych i gruntowo-roślinnych w województwie gdańskim. II Międzynarodowa Konferencja nt. „Oczyszczalnie hydrobotaniczne”, Poznań.
- Obarska-Pempkowiak H. 1996:** Wykorzystanie rowów biologicznych i filtrów gruntowych zasiedlanych trzciną do oczyszczania ścieków komunalnych. Archiwum Ochrony Środowiska, 1-2 (65-76), 65-76.
- Oleszczyk A., Jaźwiński Z. 1995:** Gospodarka osadowa w oczyszczalniach ścieków. Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalni ścieków”. Częstochowa.
- Oleszczyk A., Rządcki G. 1996:** Charakterystyka ilościowo-jakościowa osadów podstawą wyboru sposobu ich wykorzystania. Konferencja N-T „Wykorzystanie osadów ściekowych – techniczne i prawne uwarunkowania”. Częstochowa.
- Osmólska-Mróz B. 1995:** Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. Poradnik. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Piecuch T. 1998:** Termiczna utylizacja odpadów. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków **1997**. PZiTS, Poznań.
- Rozporządzenie M. Och. Śr., Zas. Nat. i Leś. z dn. 11.08.1999r.
- Siuta J. 1996 1997:** Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Materiały konferencji naukowo-technicznych Puławy – Lublin – Jeziórko.
- Siuta J. 1999:** Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych w środowisku przyrodniczym. I Konferencja N-T pt.: „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”. Puławy – Warszawa.
- Siuta J. 1998:** Rekultywacja gruntów. Poradnik.IOŚ. Warszawa.

- Siuta J. 1998:** 1) Warunki i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych.  
2) Agrotechniczne odwadnianie i kompostowanie osadów ściekowych.  
Materiały konferencji „Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów” LEM s.c. Kraków 1998.
- Siuta J. 1999:** Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. I Konferencja N-T pt.: „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”. Puławy – Warszawa.
- Siuta J. 1999:** Przyrodnicze (nieprzemysłowe) wykorzystanie osadów ściekowych. Konf. nt. Nieprzemysłowe (przyrodnicze) wykorzystanie osadów ściekowych. Poznań.
- Siuta J., Wasiak G. 1966:** Pilotowo wdrożeniowe doświadczenia gospodarki osadem i likwidacji lagun w oczyszczalni „Hajdów” w Lublinie. EKOINŻYNIERIA, Lublin.
- Siuta J., Wasiak G. 1991:** Zasady gospodarki odpadami bytowymi w środowisku przyrodniczym. IOŚ, Warszawa.
- Siuta I., Wasiak G., Kozłowska B. 1993, 1994:** Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Ekologia i Technika. 3,4,5 i 6/1993, 1(7)/1994.
- Stępniaak S. 1990:** Granulowanie i mineralizacja osadów z oczyszczalni komunalnych metodą Hydro-Kalz-2000. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 11/1990.
- Szpadt R. 1993:** Zagospodarowanie i unieszkodliwianie osadów z małych oczyszczalni ścieków. I Krajowa Konferencja Szkoleniowa pt.: „Gospodarka ściekami i odpadami w gminach”. Poznań.
- Urbaniak M., Mokrzycka B. 1996:** Badania nad kompostowaniem osadów ściekowych jako element gospodarki osadowej dużej oczyszczalni. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej nr 756/1996.
- Urbaniak M. 1997:** Przerób i wykorzystanie osadów ze ścieków komunalnych. Politechnika Łódzka, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Ekologii m. Łodzi. Łódź - Lublin.  
Ustawa o odpadach [DZ. Ust. Nr 95 poz. 592, 1997r] + Ustawa o odpadach z 03.2000r.
- Zielewicz-Madej E., Fukas-Płonka Ł. 1998:** Kryterium wyboru sposobu przeróbki osadów ściekowych. Konferencja Szkoleniowa pt.: „Przeróbka i zagospodarowanie osadów dla małych i średnich oczyszczalni ścieków”. Gdańska Fundacja Wody. Gdańsk.

## **Properties of Sewage Sludge and Selected Methods of Their Neutralisation, Processing and Utilisation**

### **Abstract**

Sludge and other wastes from sewage treatment plant (such as screenings, sand from sand trap) are concentrated cluster of various micro-organisms, including pathogenic microbes, parasites of digestive tract and various resting spore forms. Sludge and other wastes from sewage treatment plant may present potential threat for people and animals – in case of improper their development, contrary to the pertinent regulations about collecting and displacing wastes



outside sewage treatment plant area. Numerous cases of surface water contamination with dangerous pathogenic microbes, which penetrated from improperly treated sewage or because of negligence when collecting and displacing sewage wastes are described in the literature.

Outlive terms of pathogenic micro-organisms in the natural environment, in the soil and on plants is very diverse.

In the process of sewage treatment, especially during sewage sludge processing, only partial neutralising of pathogenic micro-organisms is done.

Sewage sludge neutralising may be connected with their economic usage. It depends on physico-chemical and microbiological characteristics, especially on content of:

- organic substances,
- fertilising components (mainly nitrogen, phosphorus, potassium),
- heavy metals,
- toxic organic and mineral compounds,
- pathogenic micro-organisms.

Sludge from biological process of sewage treatment abounds with organic substances, nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, sulphur and microelements necessary for living of plants and soil fauna. Sewage sludge reveals high soil creating and fertilising value. Content of fertilising components in sludge from municipal sewage treatment plants in Poland is presented in this paper.

Natural usage of sewage sludge may consist in usage the sludge for:

- fertilising soils and plants,
- meliorational soils fertilising,
- reclamation of grounds without soil,
- biological (plant) fixing dusting and scoured by rain waters surfaces,
- production of compost and fertilising preparations.

Methods of sewage sludge management used in Polish mechanical and biological sewage treatment plants are discussed. The kind of threat to the environment in case of wrong sewage sludge management is presented. Special attention is paid to methods of neutralising pathogens present in sewage sludge, such as: oxygen-free stabilisation, chemical stabilisation and hygienisation – with wider discussion of sewage sludge liming.

The problem of sludge composting is analysed in detail. Examples of composting plants usage and lime usage for stabilisation and neutralising of sewage sludge from sewage treatment plants with different flow capacity are given. The final part of the paper gives legal settlements in European Community and in Poland.