



## **Wpływ następczy osadów ściekowych stosowanych na glebach piaszczystych na właściwości kompleksu sorpcyjnego**

*Ewa Stańczyk-Mazanek, Marlena Piątek, Urszula Kępa*  
*Politechnika Częstochowska*

### **1. Wstęp**

Właściwości kompleksu sorpcyjnego gleb są uważane za jeden z najważniejszych elementów wpływających na ich żyzność. Rozbudowany kompleks sorpcyjny jest elementem, który zatrzymuje różne zanieczyszczenia glebowe na stałe lub przez pewien czas unieruchamia je w środowisku glebowo-wodnym. Na charakterystykę kompleksu sorpcyjnego wpływają m.in.: zawartość substancji organicznej, związki humusowe, które powstają przy przeobrażaniu tych substancji, kwasowość czynna i potencjalna (kwasowość hydrolityczna), wysycenie kompleksu kationami zasadowymi.

Odczyn gleby jest uważany za jeden z najważniejszych wskaźników żyzności gleby. Od kwasowości gleby zależą w bardzo dużym stopniu jej właściwości fizyczne, chemiczne jak również biologiczne. Kwasowość wpływa na trwałość struktury gruzełkowej i związane z nią stosunki powietrzno-wodne [1, 4, 7].

Wszystkie te elementy zapewniają organizmom roślinnym optymalne warunki wzrostu i plonowania. Odczyn można regulować stosując różne środki chemiczne m.in. wapno, odkwaszające nawozy mineralne lub organiczne. Uważa się, że stosowanie obornika zwykle obniża kwasowość gleby. Niektórzy autorzy proponują stosować w celach nawozowych osady ściekowe szczególnie te, które są stabilizowane i higienizowane z dodatkiem wapna [2, 8, 18, 19]. Wyniki badań nad nawozowymi

właściwościami osadów ściekowych i ich wpływem na pH użyźnionej gleby nie są jednoznaczne. Niektórzy autorzy dowodzą, że osady ściekowe podnoszą odczyn środowiska glebowego. Inni wskazują na zakwaszające właściwości osadów ściekowych po wprowadzeniu do nawożonych nimi gleb [16, 17]. Powoduje to konieczność dalszych badań ścieków i osadów pod kątem chemicznym. Konieczna jest również kontrola związków toksycznych, w tym metali ciężkich w plonach roślin uprawianych na glebach nawożonych osadami ściekowymi [3, 9, 10, 17].

Autorki pracy podjęły temat analizy wpływu zastosowania osadów ściekowych i obornika bydlęcego na zmiany własności sorpcyjnych nawożonych nimi gleb po 1,2 i 3 latach od aplikacji.

## 2. Metodyka badań

Do badań w doświadczeniu lizymetrycznym użyto glebę lekką o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego (tab. 1). Zawierała ona 72% piasku, 5% pyłu grubego, 10% pyłu drobnego i 3% iłu koloidalnego. Odczyn gleby wynosił 6,5 i wg zaleceń nawozowych [11] był słabo kwaśny.

Według wytycznych IUNG stosowanych do oceny stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi zawartości normowanych metali w glebie piaszczystej wykorzystanej w doświadczeniu można było określić jako ilość naturalną (0 stopień zanieczyszczenia gleb) [13]. Oznaczona koncentracja metali ciężkich kształtowała się poniżej dopuszczalnych zawartości tych pierwiastków w glebach zakwalifikowanych do nawożenia osadami ściekowymi [14]. Rozporządzenie to obowiązywało podczas założenia doświadczenia. W doświadczeniu lizymetrycznym do nawożenia zastosowano osady ściekowe pochodzące z 3 oczyszczalni ścieków na południu Polski. Osady różniły się procesami przeróbki.

**Osady z oczyszczalni ścieków (P)** – powstały po procesie oczyszczania ścieków hybrydową technologią złoża ruchomego (w reaktorach biologicznych), równocześnie z prowadzonym procesem osadu czynnego. Następnie stosowano symultaniczną stabilizację tlenową osadów. Osady zagęszczano mechanicznie i odwadniano na prasie taśmowej.

**Osady z oczyszczalni ścieków (R)** – powstawały po oczyszczeniu i zagęszczaniu ścieków w osadnikach Imhoffa, były stabilizowane metodą fermentacji. Odwadniano je następnie na ruchomych prasach filtracyjnych.

**Tabela 1.** Właściwości fizyczne i chemiczne gleby, osadów ściekowych i obornika  
**Table 1.** Physical and chemical properties of the soil, sewage sludge and manure

Parametr	Jednostka	Gleba	Osady ściekowe				O
			P	R	Kbp	K	
Uziarnienie	–	Pgl	–	–	–	–	–
Substancja organiczna	[% s.m.]	0,7	46,0	41,3	51,1	47,3	60,05
Odczyn (pH <sub>KCl</sub> )	–	6	7,96	6,63	6,27	7,61	8,95
Odczyn (pH <sub>H2O</sub> )	–	6,5	8,08	6,82	6,71	8,16	9,13
H <sub>h</sub>	[mmol(+) $\cdot$ kg <sup>-1</sup> ]	26,10	210,30	171,90	165,40	160,10	–
S		35,20	775,0	898,05	795,0	860,0	–
Węgiel organiczny	[g $\cdot$ kg <sup>-1</sup> s.m.]	9,65	230	217,3	221,7	218	241
Azot ogółem		0,65	37,12	36,15	34,3	35,6	39,4
P przyswajalny	[mg $\cdot$ kg <sup>-1</sup> s.m.]	35,12	611,5	613,14	614,1	613,2	463,8
K przyswajalny		19,49	262,4	251,5	249,1	250,2	2670
Mg przyswajalny		59,9	885,4	896,15	879,2	882,1	997,8
Cr		1,6	19	21	18	17	2,2
Zn		3,5	777	629	912	910	125
Pb		7,1	27	41	25	23	7,6
Cu		1,1	156	129	144	145	19
Cd		0,1	2,6	2,8	2,3	3,1	1,4
Ni		0,92	120,1	104,3	125,0	106,0	2,4
Hg		0,0018	0,52	1,9	2,8	1,2	0,13

**Osady z oczyszczalni ścieków (K)** – powstawały po oczyszczeniu biologicznym ścieków, metodą osadu czynnego w reaktorach SBR typu Bioblok, a następnie stabilizowane je tlenowo. Osady nadmierne po odwodnieniu na prasach taśmowych były składowane na poletkach na terenie oczyszczalni i przesypywane wapnem. W doświadczeniu lizymetrycznym wykorzystano 2 rodzaje osadów z tej oczyszczalni: odwadniające z dodatkiem polielektrolitu (**K**) i bez dodatku polielektrolitu (**K<sub>bp</sub>**) (o mazistej konsystencji).

Do nawożenia (w celach porównawczych) wykorzystano również nawóz naturalny, słomiasty obornik bydlęcy pochodzący z niewielkiego gospodarstwa hodowlanego. Zarówno osady ściekowe jak i obornik przed wykorzystaniem do nawożenia składowano przez okres 6 miesięcy.

Oznaczona zawartość 7 normowanych metali ciężkich (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr) w osadach ściekowych nie przekraczała dopuszczalnych wartości warunkujących ich przyrodnicze wykorzystanie. Oznaczone ilości metali ciężkich w osadach ściekowych pozwalały nawet na wykorzystanie ich w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne. Ponadto ilość metali ciężkich w glebie zastosowanej w doświadczeniu lizymetrycznym nie przekraczała dopuszczalnych wartości przy rolniczym i rekultywacyjnym wykorzystaniu osadów ściekowych [14]. Oznaczony (zamieszczony w innym opracowaniu) stan sanitarny osadów ściekowych również umożliwiał ich przyrodnicze wykorzystanie. Z osadów tych nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella* i nie stwierdzono obecności jaj helmintów, które to są głównymi wskaźnikami sanitarnymi warunkującymi możliwość przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych.

Do nawożenia gleb piaszczystych zastosowano następujące dawki nawozów organicznych: 0, 10, 50, 100 i 200 Mg·ha<sup>-1</sup> suchej masy osadów ściekowych i obornika. Poszczególne osady ściekowe oraz obornik wymieszano z glebą. Ilość nawozów przeliczono na 10 kg gleby (która mieściła się w lizymetrach doświadczalnych) tak by odpowiadały dawkom: 10, 50, 100 i 200 Mg s.m. osadów ściekowych lub obornika na hektar. Mieszanki oznaczono:

**PP** – gleba piaszczysta nawożona osadami z oczyszczalni P,

**PR** – gleba piaszczysta nawożona osadami z oczyszczalni R,

**PK** – gleba piaszczysta nawożona osadami z oczyszczalni K (z polielektrolitem),

**PK<sub>bp</sub>** – gleba piaszczysta nawożona osadami z oczyszczalni K (bez polielektrolitu).

Cyfry zamieszczone przy powyższych skrótach oznaczają zastosowaną dawkę nawozową.

Glebę kontrolną stanowiło podłoże nie nawożone. Na poszczególnych mieszankach uprawiano trawę kupkówkę (*Dactylis glomerata*). Tak przygotowane próby gleb pozostawiono na okres 1,2 i 3 lat utrzymując stałą wilgotność. Analizy wykonywano po zakończeniu każdego z 3 cykli wegetacyjnych.

Podczas trwania doświadczenia przeanalizowano zmiany kwasowości czynnej (aktywnej) – metodą potencjometryczną i hydrolitycznej (potencjalnej) – metodą Kappena w nawożonych podłożach. Kwasowość hydrolityczna obejmuje jony  $H^+$  i  $Al^{3+}$ , zarówno łatwo, jak i trudno wymienne, czyli silnie związane z kompleksem sorpcyjnym. Ten rodzaj kwasowości uważany jest za bardziej miarodajny jeśli chodzi o długoterminowe analizy zmian odczynu w glebie. Według jego wartości ustala się m.in. dawki wapna.

Oznaczono również sumę zasad S w kompleksie sorpcyjnym (metodą Kappena), zawartość węgla organicznego i ilość substancji organicznej w nawożonych obiektach doświadczalnych.

Badania prowadzono w 3 powtórzeniach. Wyniki stanowią średnią z tych powtórzeń.

Analizy wyników przeprowadzono za pomocą pakietu statystycznego STATISTICA 9,0. Analizy w przypadku badanych zmiennych wykonano stosując analizę wariancji/kowariancji.

Za istotne przyjęto prawdopodobieństwo testowe na poziomie  $p < 0,05$  a za wysoce istotne przyjęto prawdopodobieństwo testowe na poziomie  $p < 0,01$ .

### **Metody badań fizycznych i chemicznych**

Właściwości fizyczne i chemiczne badanych nawozów organicznych i nawożonych gleb oznaczano zgodnie z metodami ogólnie przyjętymi w gleboznawstwie i chemii rolnej [11]:

- skład granulometryczny – metodą Bouyoucosa-Casagrandea w modyfikacji Prószyńskiego,
- gęstość objętościową gleby w cylinderkach Kopeckiego,

- pH gleby w roztworze 1 mol KCL – potencjometrycznie,
- kwasowość hydrolityczną i sumę zasad wymiennych – metodą Kappena,
- węgiel organiczny – metodą oksydometryczną Tiurina,
- substancję organiczną – metodą prażenia w piecu muflowym w temperaturze 550°C,
- zawartość metali ciężkich (cynk, ołów, miedź, kadm, nikiel, chrom, rtęć) – w stosowanych nawozach i użyźnianych glebach, oznaczono po wcześniejszym zmineralizowaniu próbek w mineralizatorze mikrofalowym (w mieszaninie mocnych kwasów) metodą spektrofotometrii atomowej (ASA),

### 3. Wyniki badań

W tabelach 2–5 zamieszczono uzyskane wyniki badań zawartości substancji organicznej, sumy zasad S, zawartości węgla organicznego i kwasowości hydrolitycznej w glebach nawożonych osadami ściekowymi w ciągu trzech lat trwania doświadczenia lizymetrycznego.

W oparciu o analizę wyników zamieszczonych w tabeli 2 stwierdzono wysoce istotne różnice w zawartości substancji organicznej w nawożonych glebach. We wszystkich badanych obiektach ilości substancji organicznej były istotnie wyższe niż w glebach kontrolnych. Zaobserwowano również istotny spadek zawartości związków organicznych w kolejnych latach trwania doświadczenia. Jednak ilość materii organicznej w nawożonych glebach była istotnie wyższa od obiektów kontrolnych przez cały trzyletni okres trwania doświadczenia. Stwierdzono wysoce istotne różnice w ilości substancji organicznej w zależności od zastosowanej dawki osadów lub obornika (istotny wzrost zawartości wraz z wzrostem dawki) oraz wysoce istotną różnicę pomiędzy zastosowanymi mieszankami. Najwięcej tych związków oznaczono w glebach nawożonych osadami ściekowymi odwadnianymi bez dodatku polielektrolitu, o maziściej konsystencji. Substancja organiczna w tych odpadach prawdopodobnie w wolniejszym stopniu ulegała rozkładowi niż w innych osadach.

Analizując dane zamieszczone w tabeli 3 stwierdzono wysoce istotne różnice w ilości sumy zasad S w nawożonych glebach między kolejnymi latami trwania doświadczenia lizymetrycznego. Obserwowano istotny spadek wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami w 2 i 3 roku badań, jednak nadal widoczna była istotna różnica w ilości sumy kationów

zasadowych w nawożonych obiektach w odniesieniu do gleb kontrolnych. Stwierdzono wysoce istotne różnice w zależności od dawki oraz rodzaju zastosowanego materiału organicznego. Osady ściekowe powodowały większy wzrost sumy zasad S w nawożonych glebach niż obornik bydlęcy.

**Tabela 2.** Wpływ sposobów nawożenia na zmiany zawartości substancji organicznej w trakcie doświadczenia

**Table 2.** The influence of fertilization on the changes in the content of organic matter [% s.m.] during the experiment

Numer obiektu	Kombinacja	Rok I		Rok II		Rok III	
		Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe
1	Kontrola	<b>0,12</b>		<b>0,14</b>		<b>0,17</b>	
2	PP 10	<b>0,63</b>	**	<b>0,50</b>	**	<b>0,27</b>	**
3	PP 50	<b>1,69</b>	**	<b>1,28</b>	**	<b>0,52</b>	**
4	PP 100	<b>1,86</b>	**	<b>1,47</b>	**	<b>0,64</b>	**
5	PP 200	<b>2,10</b>	**	<b>2,30</b>	**	<b>1,60</b>	**
6	PR 10	<b>0,94</b>	**	<b>0,80</b>	**	<b>0,46</b>	**
7	PR 50	<b>1,94</b>	**	<b>1,86</b>	**	<b>0,81</b>	**
8	PR 100	<b>2,42</b>	**	<b>1,88</b>	**	<b>0,75</b>	**
9	PR 200	<b>2,53</b>	**	<b>2,23</b>	**	<b>1,68</b>	**
10	PK 10	<b>0,63</b>	**	<b>0,51</b>	**	<b>0,33</b>	**
11	PK 50	<b>1,75</b>	**	<b>1,33</b>	**	<b>0,41</b>	**
12	PK 100	<b>1,89</b>	**	<b>1,62</b>	**	<b>0,54</b>	**
13	PK 200	<b>2,23</b>	**	<b>2,17</b>	**	<b>0,77</b>	**
14	PKbp 10	<b>1,88</b>	**	<b>1,40</b>	**	<b>1,03</b>	**
15	PKbp 50	<b>2,12</b>	**	<b>2,03</b>	**	<b>1,25</b>	**
16	PKbp 100	<b>2,35</b>	**	<b>2,14</b>	**	<b>1,40</b>	**
17	PKbp 200	<b>3,48</b>	**	<b>3,20</b>	**	<b>2,05</b>	**
18	PO 10	<b>0,78</b>	**	<b>0,52</b>	**	<b>0,27</b>	**
19	PO 50	<b>2,07</b>	**	<b>1,52</b>	**	<b>0,39</b>	**
20	PO 100	<b>2,15</b>	**	<b>2,39</b>	**	<b>0,59</b>	**
21	PO 200	<b>2,37</b>	**	<b>2,52</b>	**	<b>0,73</b>	**
ANOVA	Efekt roku		Efekt dawki		Efekt mieszanki		
	p<0,0001		p<0,0001		p<0,0001		

\* $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$

**Tabela 3.** Wpływ sposobów nawożenia na zmiany zawartości sumy zasad S [mmol(+)·kg<sup>-1</sup>] w trakcie doświadczenia**Table 3.** The influence of fertilization on the changes in the content of total of alkali in sorption complex S [mmol(+)·kg<sup>-1</sup>] during the experiment

Numer obiektu	Kombinacja	Rok I		Rok II		Rok III				
		Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe			
1	Kontrola	<b>24,90</b>		0,36	<b>21,39</b>		0,23	<b>14,00</b>		2,00
2	PP 10	<b>65,22</b>	**	0,09	<b>45,35</b>	**	0,22	<b>27,33</b>	**	2,52
3	PP 50	<b>75,07</b>	**	0,08	<b>57,21</b>	**	0,23	<b>39,40</b>	**	4,18
4	PP 100	<b>130,08</b>	**	0,07	<b>96,15</b>	**	0,23	<b>54,80</b>	**	1,57
5	PP 200	<b>275,82</b>	**	0,62	<b>196,71</b>	**	0,70	<b>115,4</b>	**	7,72
6	PR 10	<b>36,20</b>	**	0,09	<b>30,11</b>	**	0,09	<b>26,11</b>	**	2,10
7	PR 50	<b>113,33</b>	**	0,28	<b>82,13</b>	**	0,38	<b>38,63</b>	**	0,40
8	PR 100	<b>139,37</b>	**	0,49	<b>94,88</b>	**	0,27	<b>44,27</b>	**	0,96
9	PR 200	<b>214,27</b>	**	0,15	<b>150,96</b>	**	0,72	<b>86,60</b>	**	0,56
10	PK 10	<b>34,90</b>	**	0,31	<b>28,24</b>	**	0,09	<b>23,81</b>	**	1,67
11	PK 50	<b>66,21</b>	**	0,06	<b>33,27</b>	**	0,04	<b>32,57</b>	**	0,47
12	PK 100	<b>105,05</b>	**	0,30	<b>63,57</b>	**	0,37	<b>43,57</b>	**	0,51
13	PK 200	<b>126,13</b>	**	0,55	<b>87,01</b>	**	0,11	<b>51,94</b>	**	0,48
14	PKbp 10	<b>28,15</b>	**	0,04	<b>22,37</b>	**	0,06	<b>14,96</b>		1,25
15	PKbp 50	<b>83,23</b>	**	0,11	<b>51,84</b>	**	0,11	<b>26,68</b>	**	0,41
16	PKbp 100	<b>106,23</b>	**	0,15	<b>68,72</b>	**	0,35	<b>37,22</b>	**	0,06
17	PKbp 200	<b>164,17</b>	**	0,07	<b>110,92</b>	**	0,26	<b>63,98</b>	**	0,28
18	PO 10	<b>30,53</b>	**	0,55	<b>28,15</b>	**	0,13	<b>27,21</b>	**	0,28
19	PO 50	<b>71,04</b>	**	0,51	<b>63,99</b>	**	0,24	<b>51,28</b>	**	0,15
20	PO 100	<b>90,75</b>	**	1,54	<b>88,18</b>	**	0,28	<b>86,99</b>	**	0,13
21	PO 200	<b>159,17</b>	**	0,04	<b>135,21</b>	**	0,01	<b>94,08</b>	**	0,39
ANOVA	Efekt roku		Efekt dawki		Efekt mieszanki					
	p<0,0001		p<0,0001		p<0,0001		p<0,0001			

\**p* < 0,05, \*\* *p* < 0,01

Na podstawie analizy danych zamieszczonych w tabeli 4 stwierdzono wysoce istotne różnice w zawartości węgla organicznego w nawożonych glebach w stosunku obiektów kontrolnych. Wzrost ilości węgla był obserwowany po aplikacji wszystkich osadów i obornika. Oznaczono również wysoce istotną różnicę w ilości węgla organicznego w badanych podłożach między kolejnymi latami (obserwowano spadek). Jednak efekt



wzbogacenia gleby w węgiel był obserwowany nadal w 2 i 3 roku badań. Stwierdzono wysoce istotne różnice w ilości węgla w glebie w zależności od dawki (wzrost wraz z dawką) oraz wysoce istotne różnice po nawożeniu różnymi materiałami organicznymi. Zastosowanie obornika do nawożenia powodowało większy wzrost ilości węgla organicznego, który był obserwowany przez cały trzyletni okres badań.

**Tabela 4.** Wpływ sposobów nawożenia na zmiany zawartości węgla organicznego [g·kg<sup>-1</sup>] w trakcie doświadczenia  
**Table 4.** The influence of fertilization on the changes in the content of organic carbon [g·kg<sup>-1</sup>] during the experiment

Numer obiektu	Kombinacja	Rok I		Rok II		Rok III				
		Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe			
1	Kontrola	<b>11,28</b>		1,04	<b>10,03</b>		0,41	<b>7,62</b>		1,12
2	PP 10	<b>15,03</b>	**	1,17	<b>13,43</b>	**	0,74	<b>8,17</b>		0,97
3	PP 50	<b>17,51</b>	**	0,82	<b>15,14</b>	**	0,74	<b>11,19</b>	**	0,48
4	PP 100	<b>23,26</b>	**	1,32	<b>20,05</b>	**	0,85	<b>14,68</b>	**	0,60
5	PP 200	<b>35,27</b>	**	1,01	<b>21,34</b>	**	0,58	<b>16,41</b>	**	0,45
6	PR 10	<b>16,98</b>	**	0,86	<b>15,27</b>	**	0,49	<b>10,98</b>	**	0,37
7	PR 50	<b>20,05</b>	**	0,87	<b>18,23</b>	**	0,74	<b>15,00</b>	**	0,42
8	PR 100	<b>26,14</b>	**	0,28	<b>23,34</b>	**	0,49	<b>18,22</b>	**	0,20
9	PR 200	<b>38,12</b>	**	0,83	<b>29,18</b>	**	1,06	<b>21,03</b>	**	1,20
10	PK 10	<b>13,71</b>	*	0,39	<b>11,74</b>	*	0,38	<b>9,38</b>	*	0,52
11	PK 50	<b>15,39</b>	**	1,16	<b>13,75</b>	**	0,90	<b>10,76</b>	**	0,47
12	PK 100	<b>21,70</b>	**	0,76	<b>18,93</b>	**	0,70	<b>15,00</b>	**	0,62
13	PK 200	<b>33,46</b>	**	0,70	<b>23,79</b>	**	0,67	<b>17,70</b>	**	0,53
14	PKbp 10	<b>16,20</b>	**	0,37	<b>14,85</b>	**	0,76	<b>11,29</b>	**	0,74
15	PKbp 50	<b>18,42</b>	**	0,81	<b>16,82</b>	**	0,37	<b>13,20</b>	**	0,54
16	PKbp 100	<b>24,46</b>	**	1,15	<b>20,51</b>	**	0,51	<b>15,17</b>	**	0,43
17	PKbp 200	<b>39,91</b>	**	0,17	<b>29,18</b>	**	0,88	<b>19,33</b>	**	0,48
18	PO 10	<b>16,77</b>	**	0,51	<b>15,13</b>	**	0,14	<b>11,70</b>	**	0,16
19	PO 50	<b>20,39</b>	**	0,66	<b>18,76</b>	**	0,58	<b>15,44</b>	**	0,66
20	PO 100	<b>23,45</b>	**	0,93	<b>21,78</b>	**	0,43	<b>18,95</b>	**	0,16
21	PO 200	<b>39,37</b>	**	0,80	<b>30,19</b>	**	0,53	<b>21,06</b>	**	0,46
ANOVA	Efekt roku		Efekt dawki		Efekt mieszanki					
	p<0,0001		p<0,0001		p<0,0001					

\**p* < 0,05, \*\* *p* < 0,01

**Tabela 5.** Wpływ sposobów nawożenia na zmiany kwasowości hydrolitycznej [mmol(+) $\cdot$ kg<sup>-1</sup>] w trakcie doświadczenia

**Table 5.** The influence of fertilization on the changes in the content of hydrolytic acidity [mmol(+) $\cdot$ kg<sup>-1</sup>] during the experiment

Numer obiektu	Kombinacja	Rok I			Rok II			Rok III		
		Średnia		Odczylenie standardowe	Średnia		Odczylenie standardowe	Średnia		Odczylenie standardowe
1	Kontrola	<b>3,70</b>		0,05	<b>5,37</b>		0,32	<b>7,77</b>		0,46
2	PP 10	<b>3,28</b>	**	0,08	<b>4,41</b>	**	0,17	<b>6,50</b>	n.s.	0,44
3	PP 50	<b>4,58</b>	**	0,07	<b>5,60</b>	n.s.	0,09	<b>7,03</b>	n.s.	0,21
4	PP 100	<b>4,74</b>	**	0,05	<b>6,27</b>	**	0,16	<b>8,27</b>	**	0,75
5	PP 200	<b>10,77</b>	**	0,46	<b>11,07</b>	**	0,40	<b>12,29</b>	**	0,08
6	PR 10	<b>4,13</b>	**	0,03	<b>5,73</b>	n.s.	0,18	<b>8,03</b>	**	0,46
7	PR 50	<b>7,07</b>	**	0,06	<b>8,17</b>	**	0,03	<b>9,07</b>	**	0,06
8	PR 100	<b>7,50</b>	**	0,01	<b>8,60</b>	**	0,31	<b>9,83</b>	**	0,10
9	PR 200	<b>13,25</b>	**	0,25	<b>14,22</b>	**	0,08	<b>15,25</b>	**	0,43
10	PK 10	<b>4,08</b>	*	0,08	<b>5,72</b>	n.s.	0,08	<b>7,27</b>	n.s.	0,40
11	PK 50	<b>4,52</b>	**	0,08	<b>6,15</b>	**	0,07	<b>8,28</b>	**	0,08
12	PK 100	<b>4,71</b>	**	0,04	<b>7,14</b>	**	0,13	<b>9,07</b>	**	0,06
13	PK 200	<b>5,18</b>	**	0,10	<b>8,21</b>	**	0,07	<b>11,17</b>	**	0,03
14	PKbp 10	<b>2,90</b>	**	0,20	<b>4,00</b>	**	0,10	<b>7,03</b>	n.s.	0,40
15	PKbp 50	<b>5,09</b>	**	0,08	<b>6,75</b>	**	0,13	<b>8,27</b>	**	0,06
16	PKbp 100	<b>7,12</b>	**	0,03	<b>8,20</b>	**	0,05	<b>11,03</b>	**	0,47
17	PKbp 200	<b>7,83</b>	**	0,06	<b>9,52</b>	**	0,12	<b>11,87</b>	**	0,81
18	PO 10	<b>3,75</b>	n.s.	0,05	<b>4,08</b>	**	0,07	<b>5,77</b>	**	0,40
19	PO 50	<b>2,85</b>	**	0,06	<b>4,07</b>	**	0,64	<b>6,53</b>	n.s.	0,46
20	PO 100	<b>2,56</b>	**	0,04	<b>4,35</b>	**	0,15	<b>7,17</b>	n.s.	0,21
21	PO 200	<b>2,19</b>	**	0,12	<b>5,18</b>	n.s.	0,10	<b>8,07</b>	n.s.	0,49
ANOVA	Efekt roku			Efekt dawki			Efekt mieszanki			
	p<0,0001			p<0,0001			p<0,0001			

\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , n.s. – różnica nie istotna statystycznie

Stwierdzono wysoce istotne różnice w odczynie gleb między kolejnymi latami trwania doświadczenia. Oznaczone wartości kwasowości hydrolitycznej (tab. 5) zwiększały się we wszystkich obiektach doświadczalnych przez cały 3 letni okres trwania badań. Stwierdzono wysoce istotne różnice w kwasowości w zależności od dawki oraz istotne różnice

między zastosowanymi mieszankami nawozowymi. Wzrost ilości dawki wszystkich zastosowanych osadów ściekowych powodował zwiększanie się kwasowości hydrolitycznej. Jedynie dawki 10 Mg na hektar osadów nie powodowały statystycznie istotnego wzrostu kwasowości w odniesieniu do obiektów kontrolnych. Natomiast nawożenie obornikiem powodowało spadek zakwaszenia gleb. Obserwowano to zjawisko we wszystkich obiektach nawożeniowych.

#### **4. Podsumowanie i dyskusja wyników**

Czynnikiem decydującym m.in. o mobilności metali ciężkich i innych skażeń chemicznych w glebie są jej właściwości sorpcyjne.

W badaniach obserwowano wzrost odczynu użyźnianych gleb po zastosowaniu obornika. Natomiast wszystkie wykorzystane do nawożenia osady ściekowe (zarówno po procesach tlenowej jak i beztlenowej przeróbki) powodowały wzrost kwasowości użyźnianych gleb piaszczystych, zwiększający się wraz z wzrostem dawki tych odpadów. Podobne wyniki działania osadów ściekowych na wartości kwasowości gleby stwierdziła Iżewska [6] badając wpływ nawożenia obornikiem i osadami ściekowymi na właściwości gleby. Gondek [5] analizując nawozowe wykorzystanie osadów ściekowych również wykazał ich zakwaszające działanie, szczególnie w drugim roku po aplikacji. Inne wyniki uzyskała Skowrońska i Filipek [15], którzy stwierdzili wzrost kwasowości gleb po zastosowaniu zarówno osadów ściekowych jak i obornika. Wzrost ten był jednak nieistotny statystycznie.

O długoterminowym wpływie nawożenia osadami ściekowymi i obornikiem na odczyn gleb i tendencjach, które mogą być niewidoczne przy oznaczaniu kwasowości czynnej świadczyć może w bardziej miarodajny sposób oznaczenie kwasowości potencjalnej (którą jest m.in. kwasowość hydrolityczna). Po nawożeniu osadami ściekowymi wraz ze zwiększaniem dawek rosła kwasowość hydrolityczna, natomiast po zastosowaniu obornika malała. Jedynie zastosowanie dawek  $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  osadów (zarówno po procesach tlenowej jak i beztlenowej stabilizacji) nie powodowało wzrostu kwasowości hydrolitycznej nawożonych gleb. Średnio już w pierwszym roku po nawożeniu gleb piaszczystych osadami ściekowymi kwasowość hydrolityczna rosła odpowiednio po zastosowaniu dawek 50, 100 i 200 Mg na hektar o 43%, 63% i 150% w odniesieniu do obiektów kontrolnych. W 2 i 3 roku badań również obserwowano istotne stałe zakwaszenie gleb.

Obornik stosowany do użyźniania gleb we wszystkich badanych obiektach zmniejszał kwasowość hydrolityczną. Podobne wyniki badań uzyskał Gondek [5]. Wzrost kwasowości hydrolitycznej o 50% w glebach, po nawożeniu osadami ściekowymi w stosunku do kontroli oznaczyła w badaniach Skowrońska i Filipek [15]. Odmiennie obserwacje uzyskał Baran i in. [2], gdyż w swoich doświadczeniach stwierdzili spadek kwasowości hydrolitycznej po nawożeniu kompostami z osadów ściekowych w odniesieniu do obiektów kontrolnych. Jednak tę odmienną reakcję można wyjaśnić sposobem przygotowania kompostów osadowych, do których dodawano znaczne ilości popiołów o alkalizujących właściwościach.

Suma zasad S (ilość kationów o charakterze zasadowym) rosła wraz z dawką wprowadzanych nawozów organicznych. Zastosowane w badaniach osady ściekowe wprowadzane do gleb we wszystkich obiektach doświadczenia powodowały istotnie wyższy wzrost sumy zasad S, niż obornik. Baran i in. [2] również w uzyskanych wynikach badań obserwował pozytywny wpływ zastosowanych kompostów z osadów na właściwości sorpcyjne gruntu. Ilość substancji organicznej we wzbogacanych osadami ściekowymi i obornikiem glebach rosła wraz z dawką zastosowanych nawozów we wszystkich doświadczeniach. Parat i in. [12] prowadząc przez okres 20 lat nawożenie gleb osadami i obornikiem w ilości 10 i 100 Mg·ha<sup>-1</sup> udowodnili, że jeszcze po okresie 6 lat od ostatniej aplikacji ilość materii organicznej w glebach była istotnie wyższa niż w obiektach kontrolnych. Potwierdziły to również uzyskane w pracy wyniki badań.

*Źródło finansowania: środki przeznaczone na badania statutowe w Instytucie Inżynierii Środowiska BS/MN-401-322/11.*

## Literatura

1. **Alloway B.J., Ayres D.C.:** *Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.
2. **Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Milczarek T.:** *Wpływ dodatku kompostu osadowego i osadowo-popiołowego na właściwości sorpcyjne utworu bezglebowego.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 533, 49–58 (2008).
3. **Dimitriou J., Erikson J., Adler A., Aronsson P., Verwyst T.:** *Fate of heavy metals after application of sawage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice.* Environment Pollution 142, 160–169 (2006).

4. **Forsberg L.S., Ledin S.:** *Effects of sewage sludge on pH and plant availability of metals in oxidising sulphide mine tailings.* Science of the Total Environment 358, 21–35 (2006).
5. **Gondek K.:** *Aspekty nawozowe i środowiskowe przemian i dostępności dla roślin wybranych pierwiastków w warunkach nawożenia różnymi materiałami organicznymi.* Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 452, Rozprawy z. 329 (2009).
6. **Iżewska A.:** *Wpływ nawożenia obornikiem, osadem ściekowym i kompostem z osadów ściekowych na właściwości gleby.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 518, 85–92 (2007).
7. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1993.
8. **Marcinkowski T.:** *Alkaliczna stabilizacja komunalnych osadów ściekowych.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 76, ser. 43, 6–7, 11, 23 (2004).
9. **Ociepa E., Kisiel A., Lach J.:** *Effect of fertilization with sewage sludges and composts on the change of cadmium and zinc solubility in soils.* Polish J. Environ. Stud. Series of Monographs. Ed. by January Bień and Lidia Wolny, 2, 171–176 (2010).
10. **Ociepa A., Pruszek K., Lach J., Ociepa E.:** *Wpływ długotrwałego nawożenia gleb obornikiem i osadem ściekowym na wzrost zawartości metali ciężkich w glebach.* Ecological Chemistry and Engineering S, vol.15, no1, 103–109 (2008).
11. **Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.:** *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin.* Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, 1991.
12. **Parat C., Chaussod R., Leveque J., Andreux F.:** *Long-term effects of metal-containing farmyard manure and sewage sludge on soil organic matter in a fluvisol.* Soil Biology & Biochemistry 37, 673–679 (2005).
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz. U. Nr 165 po. 1358 i 1359.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz. U. Nr 134 poz. 1140.
15. **Skowrońska M., Filipek T.:** *Wpływ zewnętrznej substancji organicznej na zakwaszenie gleb.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 533, 329–336 (2008).
16. **Stańczyk-Mazanek E., Kępa U., Stępnia L.:** *Variation in the acidity of soils after fertilization with sewage sludge.* Polish Journal of Environmental Studies, Vol.16, No. 3B, 470–473 (2007).

17. **Stańczyk-Mazanek E., Kępa U., Stępnia L.:** *Bioaccumulation of heavy metals in plants from sewage sludge substrates.* Polish Journal of Environmental Studies, Vol.16, No.3B, 465–469 (2007).
18. **Wysocki A.:** *Wpływ sposobu alkalizacji osadów ściekowych na ich wartość nawozową.* Praca doktorska, Akademia Podlaska, Siedlce, 2005.
19. **Malinowska E.:** *Wpływ wapnowania i dawki osadu ściekowego na plon roślin i formy metali ciężkich w piasku gliniastym lekkim.* Praca doktorska, Akademia Podlaska, Siedlce, 2008.

## **Effect of Sewage Sludge Applied to Sandy Soils on the Sorption Complex Properties**

### **Abstract**

Properties of soil sorption complex are thought to be one of the most important elements which affect its fertility and properties of plants. Extended sorption complex is the element which immobilizes and absorbs a variety of soil contaminants. Characteristics of sorption complex are affected by e.g. organic matter, humic relationships which occur during decomposition of organic matter, clay materials, pH, hydrolytic acidity. Soil reaction is regarded to be one of the most important indicators of soil fertility. Soil reaction largely determines its physical, chemical and biological properties. Foundation acidity affects the structure firmness and the related water and air conditions.

One of the methods of disposal of sewage sludge, which is based on its fertilizing properties, is its use in nature, e.g. in farming (if all the permissible standards are met). However, the sludge used for soil fertilization might also contain heavy metals which cause soil contamination and are accumulated in plants. The effect of application of organic fertilizers on soil reaction and other properties of sorption complex are also essential.

The authors of the present study aimed at analysis of the effect of use of sewage sludge and selected organic fertilizers on changes in sorption properties in the fertilized soils. Sewage sludge was (for comparison purposes) was introduced to sandy soil. One of organic additions was also composted pine bark. The experiment was carried out under conditions of pot experiment. The following doses of organic fertilizers were used: 0, 10, 50, 100 and 200 Mg/ha (maximal reclamation dose according to current recommendations at the time of experiment) which were calculated per pot with 10 kg of sandy soil. After 1, 2 and 3 years from fertilization, changes in active and hydrolytic acidity were analysed in the fertilized foundations. The contents of organic matter, total of alkali in sorption complex S, soil sorption capacity T in fertilized soils was also determined.

In summary of the obtained results, one can conclude that the use of organic fertilizers, either manure or sewage sludge, considerably affects properties of sorption complex in fertilized soil. Organic fertilization improved soil properties. The total of exchangeable alkali and sorption complex capacity also increased. However, it was only manure used during the experiment that contributed to a reduction in the acidity of the fertilized soils in each case. It was found that the use of sewage sludge has significant effect on long-term phenomena of soil acidification. These mechanisms are confirmed by the obtained values of hydrolytic acidity.