

KSZTAŁTOWANIE SIĘ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH, FIZYKOCHEMICZNYCH I WODNYCH REKULTYWOWANEGO I NIEREKULTYWOWANEGO OSADNIKA BYŁYCH KRAKOWSKICH ZAKŁADÓW SODOWYCH „SOLVAY”

Krzysztof Boroń, Sławomir Klatka, Marek Ryczek, Paweł Liszka
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy porównano podstawowe właściwości fizykochemiczne i wodne osadnika rekultywowanego i nierekultywowanego byłych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”. Rekultywacja techniczna osadników posodowych polegała na pokryciu ich warstwą nawiezionej gruntu mineralnego o średniej miąższości 30 cm. Na podstawie badań laboratoryjnych stwierdzono, że zastosowana do rekultywacji technicznej warstwa gruntu generalnie nie polepszyła warunków wodnych dla roślin. Warstwa rekultywacyjna charakteryzowała się mniejszym zapasem wody dostępnej dla roślin niż odpowiadająca jej warstwa na osadniku nierekultywowanym. Porównując wartości pH stwierdzono, że na osadniku rekultywowanym odczyn w górnych warstwach był niższy (zwykle o pół jednostki pH), niż w odpowiadających warstwach osadnika nierekultywowanego. Górne warstwy osadnika nierekultywowanego wykazały tendencje do wyższych wartości przewodnictwa elektrycznego właściwego niż odpowiadające im warstwy nadkładu. W przypadku nadkładu przewodnictwo elektryczne właściwe nie przekraczało wartości przewodnictwa granicznego $1,0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Słowa kluczowe: właściwości fizyczne i fizykochemiczne gleb, osadniki posodowe, rekultywacja

WSTĘP I CEL PRACY

Obszary zdegradowane i zdewastowane pozostające w obrębie wielkich aglomeracji miejskich są poddawane coraz częściej rewitalizacji. Obiektem tego procesu w obrębie Krakowa stają się również osadniki zawierające odpady posodowe byłych

Adres do korespondencji – Corresponding authors: prof dr hab. inż. Krzysztof. Boroń, dr inż. Sławomir Klatka, dr hab. inż. Marek Ryczek, mgr inż. Paweł Liszka, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmboron@cyf-kr.edu.pl, rmklatka@cyf-kr.edu.pl, rmryczek@cyf-kr.edu.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”. Perspektywy zagospodarowania tych terenów o powierzchni przekraczającej 70 ha i położonych w sąsiedztwie osiedli mieszkaniowych oraz kompleksu Sanktuarium Bożego Miłosierdzia budzą szerokie zainteresowanie krakowian. Wielu autorów zajmowało się zagadnieniami rekultywacji i procesami szeroko pojętej rewitalizacji tego obiektu; ważniejsze prace na ten temat przedstawili: Sroczyński [2008], Sroczyński, Skrzypczak, Syposz-Luczak i Wota [Sroczyński i in. 2009], Boroń, Klatka, Ryczek, Zając [2010], Boroń, Ryczek i Klatka [Boroń i in. 2011].

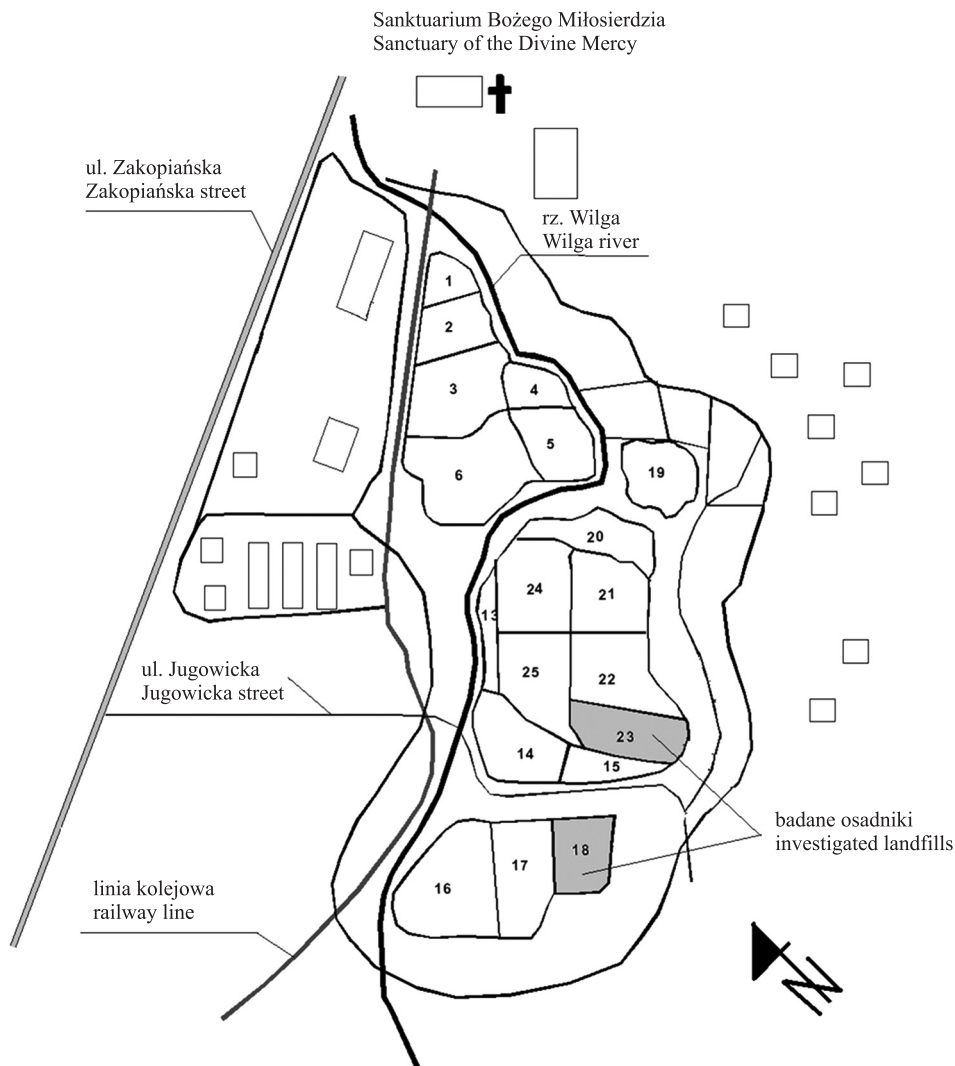
Celem pracy było przedstawienie zmian właściwości fizycznych, fizykochemicznych i wodnych istotnych z punktu widzenia rekultywacji przyrodniczej, spowodowanych przykryciem osadnika trzydziestocentymetrową warstwą nadkładu mineralnego. Dla wykazania tych zmian analizowano osadnik nierekultywowany (nr 18) i rekultywowany (nr 23).

OBIEKT BADAŃ

Badany obszar osadników posodowych byłych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay” znajduje się w południowej części Krakowa, w dzielnicy IX Łągiewniki–Borek Fałęcki. Osadniki zajmują powierzchnię ponad 70 ha. Są to osadniki nadpoziomowe, wyniesione od ok. 10 do 27 m nad poziom terenu [Boroń i Szatko 1998]. Położenie oraz szczegółowy opis osadników przedstawiono we wcześniejszych publikacjach [Boroń i Nagawiecka 1995]. Prace rekultywacyjne na osadnikach przeprowadzono w latach 1989–1995. Rekultywacja techniczna dotyczyła rozplantowania korony osadników do poziomu składowanego odpadu, ukształtowania i zabezpieczenia skarp, nawiezienia i rozplantowania około 30 cm warstwy nadkładu mineralnego.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono na osadnikach nr 18 i 23 (ryc. 1). Osadnik nr 18 nie był rekultywowany i zagospodarowany przyrodniczo. Obecny stan pokrycia roślinnością tego osadnika jest efektem sukcesji naturalnej. Osadnik nr 23 należy do grupy osadników, które były rekultywowane technicznie w latach 1989–1995. Rekultywacja techniczna osadników polegała na zastosowaniu metody izolacji – przykrycia osadów posodowych warstwą nadkładu mineralnego, którego średnia miąższość wynosi 30 cm. Podłoże przygotowano do wysiewu nostrzyka i mieszanek motylkowo-trawiastych stosowanych w rekultywacji biologicznej. Badano te właściwości fizyczne, fizykochemiczne i wodne, które istotnie wpływają na rozwój roślin. Miejsca lokalizacji odkrywek podstawowych, reprezentatywnych dla osadnika nr 18 i 23 ustalono, bazując na analizie odkrywek pomocniczych i wierceniach wykonanych w trakcie wcześniejszych badań obiektu [Boroń i in. 2000]. Próbkę do analiz laboratoryjnych pobierano z warstw: 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 15–30 cm, 30–60 cm i 60–100 cm. W laboratorium wykonano badania właściwości fizycznych i wodnych próbek zgodnie z obowiązującymi obecnie normami i metodami powszechnie stosowanymi w praktyce gleboznawczej. Odczyn i przewodnictwo elektryczne właściwe wyznaczono w zawiesinie wodnej w stosunku 1 : 2,5.



Ryc. 1. Schemat rozmieszczenia osadników na składowisku odpadów byłych KZS „Solvay”
Fig. 1. Scheme of location of landfills on the former Cracow |Soda Plant “Solvay”

Retencję wodną wyznaczono na podstawie krzywych charakterystyk wodnych uzyskanych w komorze niskociśnieniowej Richardsa. Zapas wody dostępnej dla roślin w poszczególnych warstwach wyliczono z różnicy zawartości wody przy $pF = 2,5$ i $pF = 4,2$, oraz przemnożeniu przez miąższość warstwy.

WYNIKI BADAŃ

Odkrywki glebowe

Zgodnie z Systematyką gleb Polski [2011] odkrywkę na osadniku nierealtywowanym (nr 18) zaklasyfikowano do Typu 11.2., podtypu 11.2.1. Gleb industrioziemnych inicjalnych (AIin), odkrywkę przykrytą nadkładem glebowym (nr 23) do Typu 11.2. podtypu 11.2.2. Gleb industrioziemnych próchnicznych (AIpr). Odkrywka na osadniku nr 18 charakteryzowała się typowym układem poziomów Ap C-2 C-3 C-4. Poziom Ap miał głębokość 0–5 cm; był to poziom o początkowym stadium rozwojowym. Kolejne, głębsze poziomy stanowiły poprodukcyjny materiał odpadowy, o różnym stopniu zwietrzenia i przemycia. Odkrywka na osadniku rekultywowanym (nr 23) wykazywała podobną do wcześniej omawianej odkrywki sekwencję poziomów, z tą różnicą, że przykrywająca warstwa próchniczna miała średnią miąższość 30 cm i spełniała większość kryteriów poziomu *orchic*.

Właściwości fizyczne

Zmagazynowany w osadnikach podsodowych odpadowy materiał poprodukcyjny stanowią głównie takie utwory jak pył piaszczysty i glina pylasta (osadnik nr 18). Wprowadzona na powierzchnię osadnika nr 23 warstwa materiału rekultywacyjnego to warstwa łu pylastego, gliny pylastej zalegającej na pyłe i pyłe piaszczystym (osadnik nr 23, tab. 1). Taka zmienność składu granulometrycznego w wierzchnich warstwach analizowanych osadników rzutuje na pozostałe właściwości fizyczne i wodne tych osadników. Przedstawione w tabeli 1 wartości gęstości objętościowej badanych warstw osadnika nierealtywowanego (nr 18) są niskie i mogą być przyrównywane do wartości spotykanych dla większości naturalnych gleb organicznych. Wartość maksymalną $0,82 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ zaobserwowano w warstwie 10–15 cm tego osadnika. Osadnik rekultywowany warstwą gruntu (nr 23) charakteryzował się gęstością objętościową od $0,91$ do $1,25 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ w nawiezionej warstwie o średniej miąższości 30 cm. W warstwie 60–100 cm tego osadnika gęstość objętościowa obniżyła się do $0,44 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ i była charakterystyczna dla zgromadzonego w osadnikach odpadów posodowych. Jej wartość była prawie taka sama jak dla odpowiadającej warstwy na osadniku nr 18 ($0,42 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Gęstości fazy stałej analizowanych wierzchnich warstw na porównywanych osadnikach są generalnie wyższe na osadniku nr 23, ogólnie oscylują w granicach $2,27$ – $2,60 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, są to wartości zbliżone do spotykanych w glebach mineralnych. Porowatość ogólna liczona z gęstości fazy stałej i gęstości objętościowej jest znacznie wyższa w warstwach 0–30 cm osadnika nierealtywowanego w porównaniu z odpowiadającymi warstwami osadnika rekultywowanego. Na uwagę zasługuje wysoka porowatość ogólna warstw badanych odkrywek – wynika ona z faktu, że liczy się ją metodą pośrednią, uwzględniając gęstość fazy stałej i gęstość objętościową, przy czym warstwy te, szczególnie zbudowane z odpadów posodowych, charakteryzują się niską gęstością objętościową. Porowatość ogólna ulega niewielkim wahaniom w całym profilu osadnika nierealtywowanego i utrzymuje się średnio na poziomie 75%, natomiast na osadniku rekultywowanym wyraźnie widać wpływ mineralnego nadkładu i w tym przypadku porowatość ogólna w warstwach do 30 cm wynosi średnio 55%.

Tabela 1. Właściwości fizyczne warstw osadników nr 18 i 23
 Table 1. Physical properties of landfills no 18 and 23

Nr. Osadnika Landfill nb.	Warstwa Layer cm	Gęstość fazy stałej Solid phase density Mg · m ⁻³	Gęstość objętościowa Bulk density Mg · m ⁻³	Porowatość ogólna Total porosity %	Zawartość frakcji – Fractions content, %			Symbol Utworu Granular group symbol
					2,00–0,05 mm	0,05–0,002 mm	< 0,002 mm	
18	0–5	2,37	0,62	73,84	54	56	0	p/p
	5–10	2,69	0,74	72,49	54	52	4	p/p
	10–15	2,43	0,82	66,25	48	55	7	p/p
	15–30	2,27	0,54	76,21	52	56	2	p/p
	30–60	2,41	0,49	79,67	44	56	10	p/p
	60–100	2,38	0,42	82,35	67	23	10	gp
23	0–5	2,38	0,91	61,76	21	43	36	ipt
	5–10	2,44	1,06	56,56	28	40	32	gc
	10–15	2,52	1,24	50,79	12	56	32	gpl
	15–30	2,53	1,25	50,59	20	46	34	gpl
	30–60	2,56	0,76	70,31	12	87	1	pl
	60–100	2,60	0,44	83,08	35	62	3	p/p

Właściwości wodne

W tabeli 2 zostały zestawione właściwości wodne badanych osadników. Porównując kapilarną pojemność wodną w 30-centymetrowych warstwach osadnika nr 18 i nr 23, można stwierdzić, że nie widać między nimi większej różnicy. Średnia kapilarna pojemność wodna dla tej warstwy osadnika nierekultywowanego wynosi 45,4%, analogiczna zaś pojemność osadnika rekultywowanego 45,8%. Różnice między wierzchnimi warstwami osadników występują w przypadku wartości punktu trwałego wędnięcia. Na osadniku nierekultywowanym jego wartość wynosi 21,2%, a na osadniku rekultywowanym 24,4%. Z przedstawionej tabeli wynika, że w warstwie 0–30 cm odkrywki osadnika nierekultywowanego zapas wody dostępnej dla roślin wynosi 79,3 mm, w nawiezionej warstwie o miąższości 30 cm odkrywki reprezentującej osadnik rekultywowany zapas wody dostępnej dla roślin wynosi 37,4 mm. Z tego porównania wynika, że nawieziona warstwa materiału glebowego charakteryzowała się mniejszym zapasem wody dostępnej dla roślin niż odpowiadająca jej warstwa na osadniku nierekultywowanym. Dla całego badanego profilu o głębokości 100 cm zapas wody dostępnej dla roślin na osadniku nierekultywowanym osiągnął 255,07 mm, a na rekultywowanym odpowiednio 195,70 mm. Ogólnie wysoki zapas wody dostępnej dla roślin przypisać można pylasto-piaszczystemu składowi granulometrycznemu warstw. Taki skład granulometryczny przeważał w warstwach odkrywki reprezentującej osadnik nie rekultywowany.

Tabela 2. Właściwości wodne warstw osadników nr 18 i 23

Table 2. Water properties of landfills no 18 and 23

Nr Osadnika Landfill nb.	Warstwa Layer cm	Kapilarna Pojemność Wodna Capillar water capacity % obj.	Polowa Pojemność Wodna % obj Field water capacity % vol	Punkt Trwałego Wędnięcia % obj. Permanent wilting point % vol.	Zapasy wody dostępnej dla roślin Total available water content mm
18	0–5	43,4	33,58	18,52	7,53
	5–10	48,1	37,26	18,29	9,49
	10–15	45,1	34,76	18,17	8,29
	15–30	63,72	54,53	29,88	36,97
	30–60	67,13	54,13	29,54	73,77
	60–100	66,78	55,67	30,17	102,00
					$\Sigma = 255,07$
23	0–5	51,87	32,84	14,75	9,04
	5–10	46,64	34,98	29,97	2,50
	10–15	43,40	35,08	29,85	2,62
	15–30	41,25	38,52	23,03	23,24
	30–60	54,72	42,06	23,16	56,70
	60–100	66,44	54,16	28,76	101,60
					$\Sigma = 195,70$

Właściwości fizykochemiczne

Warstwa nawiezionej gleby mineralnej na osadniku rekultywowanym wyraźnie różniła się właściwościami fizykochemicznymi od odpowiadającej jej 30-centymetrowej warstwy osadnika nierekultywowanego. Różnice dokumentuje tabela 3. Zastosowana warstwa rekultywacyjna miała niższy odczyn, w granicach od pH 6,96 do 7,62. W warstwie odpowiadającej głębokością na osadniku nierekultywowanym maksymalna wartość pH wynosiła 9,95. W profilu osadnika rekultywowanego po przekroczeniu głębokości nawiezionej warstwy odczyn wzrastał o prawie trzy jednostki pH, w profilu osadnika nierekultywowanego wzrost pH z głębokością odbywał się stopniowo. Na głębokości 100 cm w obydwu profilach wartości odczynu były zbliżone, silnie alkaliczne, nieznacznie przekraczające wartość pH 12. Podobne tendencje utrzymywały się w zakresie przewodnictwa elektrycznego właściwego. Nawiezioną warstwę na osadniku rekultywowanym cechowało przewodnictwo elektryczne właściwe rzędu $0,65 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, nieprzekraczające przyjętego według klasyfikacji Boronia i in. [2011] przewodnictwa granicznego dla roślin $\text{PG} = 1,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Średnie przewodnictwo elektryczne właściwe warstwy 30–60 cm osiągało wartość $1,60 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ i zbliżało się do przewodnictwa krytycznego wynoszącego według wspomnianych autorów $\text{PK} = 2,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. W osadzie pod nawiezioną warstwą przewodnictwo nagle wzrastało i osiągało $9,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ – było trzykrotnie wyższe od określanego we wspomnianej klasyfikacji jako przewodnictwo toksyczne ($\text{PT} = 3,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). Na osadniku nierekultywowanym (nr 18) nie występowały warstwy o przewodnictwie granicznym PG. W warstwach od 0–10cm przewodnictwo elektryczne właściwe zbliżało się do wartości przewodnictwa krytycznego (PK). W warstwach głębszych niż 10 cm zostało przekroczone przewodnictwo toksyczne (PT), a na głębokości 100 cm osiągało wartość $11,50 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Na podstawie przedstawionej analizy i porównania warunków, jakie wytworzyła na osadniku nawieziona warstwa mineralna dla roślin, z oryginalnymi istniejącymi na osadniku można stwierdzić że warstwa mineralna miała niższy odczyn oraz zawartość soli rozpuszczalnych, co korzystnie wpływa na warunki rozwoju większości roślin, jednak wspomniana warstwa zapewniała niższą od warstwy odpadu zawartość wody dostępnej dla roślin.

Tabela 3. Właściwości fizykochemiczne warstw osadników nr 18 i 23
Table 3. Physico-chemical properties of landfills no 18 and 23

Nr osadnika Landfill nb.	Warstwa Layer cm	pH	Przewodnictwo elektryczne właściwe Specific electric conductivity $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	Nr osadnika Landfill nb.	Warstwa Layer cm	pH	Przewodnictwo elektryczne właściwe Specific electric conductivity $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$
18	0–5	7,38	1,35	23	0–5	6,96	0,40
	5–10	7,46	1,75		5–10	7,40	0,60
	10–15	8,35	3,30		10–15	7,56	0,65
	15–30	9,95	4,10		15–30	7,62	0,66
	30–60	12,08	10,50		30–60	10,37	1,60
	60–100	12,12	11,50		60–100	12,08	9,00

WNIOSKI

1. Gleby na osadniku nierekułtywowanym zaklasyfikowano do gleb industrioziemnych inicjalnych (11.2.1 AIn), a na osadniku przykrytym nadkładem glebowym do idustrioziemnych próchnicznych (11.2.2 AIPr).
2. Warstwa rekułtywacyjna i odpowiadająca jej warstwa o takiej samej miąższości na osadniku nierekułtywowanym mają zbliżone wartości gęstości fazy stałej, natomiast gęstość objętościowa warstwy rekułtywacyjnej jest znacznie wyższa niż odpowiadającej warstwy na osadniku nierekułtywowanym.
3. Warstwa nawiezionego materiału glebowego charakteryzowała się mniejszym zapasem wody dostępnej dla roślin niż odpowiadająca jej warstwa na osadniku nierekułtywowanym.
4. Zastosowana warstwa rekułtywacyjna miała niższy odczyn niż odpowiadająca warstwa odpadu na osadniku nierekułtywowanym. Po przekroczeniu głębokości nawiezionej warstwy odczyn w profilu wzrastał prawie o trzy jednostki i osiągał pH 10,37.
5. Nawieziona warstwa charakteryzowała się przewodnictwem elektrycznym właściwym nieprzekraczającym przewodnictwa granicznego ($PG = 1,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). Na osadniku nie rekułtywowanym przewodnictwo elektryczne właściwe krytyczne ($PK = 3,00 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) zostało przekroczone już na głębokości większej niż 10 cm.

PIŚMIENNICTWO

- Boroń, K.J., Nagawiecka, H. (1995). The possibility of biological reclamation of Soda waste reservoirs "White Seas" in Kraków, Poland. Waste Disposal by Landfill – Green '93 1955 Balkena, Rotterdam.
- Boroń, K., Szatko, E. (1998). Biological aspect of soda waste decanter reclamation in former Kraków Soda Plant "Solvay"; Land reclamation. Achieving Sustainable Benefits, Balkena, Rotterdam.
- Boroń, K., Klatka, S., Ryczek, M., Zając, E. (2010). Reclamation and cultivation of the Cracow soda plant lagoons. International Conference on Construction for a Sustainable Environment, Vilnius, Lithuania, 245–250.
- Boroń, K., Zając, E., Klatka, S. (2000). Rekułtywacja terenu składowania odpadów KZS „Solvay” w Krakowie. Inżyn. Ekol. 1 – Ochrona i Rekułtywacja Gruntów.
- Boroń, K., Ryczek, M., Klatka, S. (2011). Wpływ zasolenia na możliwości zagospodarowania przyrodniczego osadników posodowych byłych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 561.
- Nowosielski, O. (1974). Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa.
- Sroczyński, W. (2008). Perspektywy zagospodarowania tzw. "Białych Mórz" na terenach po byłych Krakowskich Zakładach Sodowych „Solvay” – Zarządzanie krajobrazem kulturowym. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego nr 10. Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec.
- Sroczyński, W., Skrzypczak, R., Syposz-Łuczak, B., Wota, A. (2009). Krakowskie „Białe Morza” – wybrane problemy zagospodarowania rewitalizacji. Zesz. Nauk. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 76, Kraków.
- Systematyka gleb Polski. 2011. Wyd. 5. Roczn. Glebozn. PTG, LXII(3).

THE FORMATION OF THE PHYSICAL, PHYSICO-CHEMICAL AND WATER PROPERTIES RECLAIMED AND NOT RECLAIMED SEDIMENT RESERVOIR OF THE FORMER CRACOW SODA PLANT „SOLVAY”

Abstract. The paper contains comparison of basic physico-chemical and water properties of reclaimed and not reclaimed soda waste reservoirs of the former Cracow Soda Plant “Solvay”. Technical reclamation of the post soda waste reservoirs based on covering them by 30 cm thick layer of mineral ground. On the base of laboratory work it was ascertained, that layer of ground used for technical reclamation did not improve water properties for plant in general. The layer used for reclamation was characterized by lower storage of water available for plant than adequate layer for not reclaimed waste reservoir. By comparison of pH values it was stated, that on the reclaimed reservoir reaction in upper layers was lower (about half of the pH unit) than in the adequate layers in not reclaimed reservoir. Upper layers of not reclaimed reservoir had a tendency to higher vales of electric conductivity than adequate overlayer of reclaimed one. In a case of overlayer electrical conductivity does not exceed permissible limit which is usually accepted for plant at the level $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Key words: physical and physic-chemical properties of soil, post soda landfills, reclamation

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.09.2016

Do cytowań – For citation: Boroń, K., Klatka, S., Ryczek, M., Liszka, P. (2016). Kształtowanie się właściwości fizycznych, fizykochemicznych i wodnych rekultywowanego i nierekultywowanego osadnika byłych krakowskich zakładów sodowych „Solvay”. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(3), 35–43.