

Wpłynęło 20.12.2013 r.
Zrecenzowano 16.04.2014 r.
Zaakceptowano 14.05.2014 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ZAGROŻENIA DLA ŚRODOWISKA, WYNIKAJĄCE Z LIKWIDACJI WROCLAWSKICH PÓL IRYGOWANYCH

Franciszek CZYŻYK ABCDEF

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

Streszczenie

W pracy przedstawiono zakres obciążenia ściekami wrocławskich pól irygowanych i niektóre wyniki kompleksowych badań właściwości chemicznych ich gleby.

W wyniku ok. 130-letniego funkcjonowania pól nawadnianych ściekami i dużego obciążenia nimi, w glebie nastąpiły procesy przemian i akumulacja różnego rodzaju związków i pierwiastków, zwłaszcza substancji organicznej, azotu, fosforu i metali ciężkich. Po zaprzestaniu nawadniania pól zmieniają się radykalnie warunki wodne i powietrzne (tlenowe) w ich glebie. Spowoduje to liczne niekorzystne procesy: głównie szybką mineralizację glebowej substancji organicznej, zakwaszenie gleby oraz uwalnianie i odpływ z niej dużych zasobów metali ciężkich, a także substancji biogenych do środowiska wodnego. Do ujemnych skutków należy zaliczyć także zanik ekosystemów hydrofitowych, będących siedliskiem licznych gatunków ptactwa. W pracy omówiono także sposoby ograniczenia negatywnych skutków zaprzestania nawadniania pól ściekami.

Słowa kluczowe: pola irygowane, zagrożenia dla środowiska

WSTĘP

Pola nawadniane ściekami (pola irygowane) są naturalną biologiczną glebowo-roślinną oczyszczalnią ścieków. Jest to najstarszy, bardzo skuteczny sposób oczyszczania ścieków. Według SKIBNIEWSKIEGO [1951] zorganizowane nawadnianie pól ściekami zastosowano już w 1539 r. w Siegen w Westfalii oraz w 1559 r. w Bolesławcu. Pola irygowane stosowano do oczyszczania ścieków na całym świecie. Najwięcej powstało ich na terenie Niemiec, po ukazaniu się w 1877 r. ustawy zabraniającej odprowadzania nieoczyszczonych ścieków do rzek. Na polach irygo-

wanych oczyszczano również ścieki z licznych miast polskich, jak np. z Gdańska, Wrocławia, Łodzi, Legnicy, Namysłowa, Oleśnicy, Ostrowa Wielkopolskiego, Rybnika, Bydgoszczy, Kluczborka, Leszna i Rawicza [WIERZBICKI 1952]. Obiekty te były eksploatowane przez około 100 lat, a niektóre znacznie dłużej.

Intensywny rozwój miast, zwłaszcza po drugiej wojnie światowej, powodował zwiększanie obciążenia ściekami pól irygowanych. Zaostrzyły się również wymagania przepisów prawnych, zwłaszcza dotyczące warunków sanitarnych odprowadzania ścieków do ziemi. W rezultacie eksploatacja pól i spełnianie wymagań przepisów były coraz trudniejsze. Jednocześnie następował rozwój i doskonalenie technologii sztucznego, mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków. Pod koniec XX w. likwidowano więc pola irygowane, zastępując je oczyszczalniami sztucznymi. W związku z zakończeniem budowy wrocławskiej oczyszczalni ścieków (WOŚ) w Janówku, rozpoczęto również likwidację wrocławskich pól irygowanych. Procesy likwidacji oraz rekultywacji tych pól powinny być jednak przeprowadzone w sposób możliwie najmniej szkodliwy dla środowiska. Radykalne zaprzestanie nawadniania pól oraz niewłaściwe (błędne) zabiegi rekultywacyjne mogą spowodować intensywną mineralizację nagromadzonej w glebie substancji organicznej oraz odpływ składników biogennych i metali ciężkich do środowiska wodnego. Procesy te, w dużym nasileniu, stwierdzono po zaprzestaniu doprowadzania ścieków na pola irygowane Berlina [BLUMENSTEIN i in. 1992; HECKERT 1996, STOFFREGEN i in. 1998].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wpływu ponad 100-letniego obciążania pól ściekami na niektóre właściwości fizykochemiczne gleby oraz wskazanie potencjalnych zagrożeń dla środowiska, wynikających z zaprzestania nawodnień. Ponadto w pracy omówiono możliwości zmniejszania tych zagrożeń.

WARUNKI I METODY BADAŃ

Wrocławskie pola irygowane były główną oczyszczalnią ścieków z Wrocławia przez 130 lat. Grawitacyjne nawadnianie ściekami ich pierwszej części, o powierzchni 415 ha, rozpoczęto w 1881 r. w Osobowicach. Od tej pory stopniowo zwiększano powierzchnię irygowaną, aż do ok. 1 100 ha w 1921 r. Obciążenie tych pól ściekami w 1939 r. wynosiło około 2 600 mm rocznie, a w 1950 r. – 2 160 mm i od tej pory systematycznie się zwiększało. Największe wartości (ponad 7 000 mm rocznie) osiągnęło w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Z pomiarów prowadzonych w przepompowni „Port” wynika, że w latach 90. nastąpiło wyraźne zmniejszenie ilości ścieków przetłaczanych na pola irygowane. Ich obciążenie hydrauliczne zmniejszyło się do ok. 2500 mm rocznie [CZYŻYK 2000].

Gleby wrocławskich pól irygowanych są zróżnicowane. Wytworzone są z utworów aluwialnych, zróżnicowanych zarówno w układzie profilowym (pionowym), jak i przestrzennym. W glebach tych występują różne utwory: od piasków

luźnych, poprzez gliny, aż do ilów. Udział poszczególnych gatunków gleb w ogólnej powierzchni pól jest następujący [CZYŻYK, TALIK 1985]: mady lekkie piaszczyste – 45%, mady średnie – 32%, mady ciężkie – 18%, rozlewiska i powierzchnie zabagnione (w tym gleby torfowe) – 5%.

Na całym obszarze pól irygowanych przeprowadzono badania niektórych właściwości chemicznych gleby. Do badań pobrano próbki ze 115 równomiernie rozmieszczonych punktów, z uwzględnieniem wszystkich gatunków gleby, występujących na tym obszarze. Oznaczano zawartość w glebie:

- węgla organicznego – metodą Tiurina;
- azotu ogólnego – metodą Kjeldahla;
- fosforu – kolorymetrycznie;
- siarczanów – konduktometrycznie;
- metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) – metodą ASA.

Próby mineralizowano mieszaniną kwasu azotowego (HNO_3) i nadchlorowego (HClO_4) w proporcji 1:1, a następnie – kwasu fluorowodorowego (HF) i azotowego w proporcji 5:1.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W wyniku 130-letniego funkcjonowania pól irygowanych i ich długoletniego przeciążenia ściekami, nastąpiły w glebie procesy przemian i akumulacji substancji organicznych, składników biogennych i metali ciężkich. Na podstawie analiz chemicznych gleby obszaru pól irygowanych stwierdzono, że zawiera ona duże ilości substancji organicznej, azotu, fosforu, związków siarki i metali ciężkich (tab. 1).

Tabela 1. Średnie zawartości N, P, C_{org} i metali ciężkich ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w wierzchniej warstwie (0–25 cm) gleb na polach irygowanych miasta Wrocław

Table 1. Mean contents of N, P, C_{org} , SO_4 and heavy metals ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM) in the top layer (0–25 cm) of soils in irrigated fields of the city of Wrocław

Utwór glebowy Soil formation	N_{og} N_{tot}	P_{og} P_{tot}	C_{org}	SO_4	Metale ciężkie Heavy metals					
					Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Piasek słabo gliniasty Weakly loamy sand	1 336	629	12 600	390	0,93	12,5	23,0	12,9	48,4	66,0
Piasek gliniasty Loamy sand	2 057	1 592	21 900	460	1,10	13,9	30,3	13,0	56,0	74,4
Gлина lekka Light loam	2 130	1 623	23 900	560	1,11	14,0	47,9	13,9	63,7	171,0
Gлина średnia Medium-heavy loam	2 382	2 344	27 400	600	1,96	15,5	55,8	14,7	72,3	256,0
Gлина ciężka Heavy loam	3 056	3 283	30 400	1 010	3,04	19,0	76,0	18,3	86,6	374,0

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Chemiczne obciążenie gleby było zbliżone do obciążenia na byłych polach irygowanych Legnicy i Kluczborka [CZYŻYK 1992; 1994] oraz Berlina [KRATZ 1995; METZ i in. 1991].

Z badań wynika, że składniki chemiczne gleby były kumulowane głównie w jej przypowierzchniowej próchnicznej warstwie. Zaznaczyło się też wyraźnie zwiększenie zawartości tych składników wraz ze wzrostem zwięzłości gleby, a zawartości metali ciężkich – również z zawartością substancji organicznej. Zależność zawartości metali ciężkich od ilości substancji organicznej w glebie potwierdzają też wykonane na tym samym obiekcie badania gleb torfowych [BOGACZ, PRZYBYLSKA 2010], które wykazały, że gleby torfowe, zawierające 42–60% węgla organicznego, charakteryzowały się niezwykle dużą zawartością metali ciężkich, wynoszącą: 495–1910 mg Cu·kg⁻¹, 251–570 mg Pb·kg⁻¹ i 2250–5840 mg Zn·kg⁻¹.

Badania gleb mineralnych z tego obiektu, wykonane w 2004 r. przez laboratorium WIOŚ we Wrocławiu [WIOŚ 2004], wykazały jeszcze większą zawartość metali ciężkich niż podane w tabeli 1.:

- cynku – 134–3517 mg Zn·kg⁻¹ s.m.,
- ołowiu – 27,4–275 mg Pb·kg⁻¹ s.m.,
- kadmu – 0,67–37,6 mg Cd·kg⁻¹ s.m.,
- miedzi – 23,7–409 mg Cu·kg⁻¹ s.m.,
- chromu – 32,4–565 mg Cr·kg⁻¹ s.m.

Przyjmując dane z tabeli 1. i przeciętny ciężar objętościowy gleby suchej, wynoszący 1 600 kg·m⁻³, obliczono że tylko w powierzchniowej warstwie gleby (0–25 cm), na obszarze 1 ha zawarte są następujące ilości metali ciężkich i składników biogennych:

- cynku – 300–1 500 kg,
- miedzi – 92–304 kg,
- chromu – 50–76 kg,
- kadmu – 4–12 kg,
- niklu – 52–73 kg,
- ołowiu – 194–350 kg,
- azotu – 5 340–13 208 kg,
- fosforu – 2 516–13 280 kg.

Mniejsze wartości dotyczą piaszczystych gleb lekkich (piasku gliniastego), większe natomiast – ciężkich (gliny ciężkiej).

Z prezentowanych obliczeń jednoznacznie wynika, że na obszarze pól irygowanych, których ogólna powierzchnia wynosi ok. 1000 ha, znajdują się znaczne zasoby metali ciężkich i składników biogennych. Są to ilości, które stanowią duże zagrożenie dla czystości środowiska wodnego.

Wieloletnie bardzo duże obciążanie pól ściekami doprowadziło nie tylko do zmian właściwości gleby, lecz także szaty roślinnej. W północnej (końcowej) części pól, gdzie występowały długoletnie zrzuty nadmiaru ścieków nieodebranych wcześniej z kanałów doprowadzających, wytworzyły się ekosystemy hydrofitowe,

porośnięte głównie trzciną pospolitą (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) i pałąk wodną (*Typha latifolia* L.). Są one siedliskiem licznych gatunków ptactwa wodnego. Na obszarze wrocławskich pól irygowanych stwierdzono ponad 200 gatunków ptaków, z czego 105 to gatunki lęgowe, które w większości podlegają ścisłej ochronie gatunkowej [ORŁOWSKI 2006; ORŁOWSKI, GÓRKA 2010; ORŁOWSKI, SEK 2005]. Aż 33 gatunki są zaliczane do zagrożonych i ginących, wymienionych w „Polskiej czerwonej księdze zwierząt” [GŁOWACIŃSKI (red.) 2001; ŻOGAŁA 2011]. Do spotykanych tu gatunków zagrożonych można zaliczyć, np. bączka (*Ixobrychus minutus*), czaplę purpurową (*Ardea purpurea*), błotniaka zbożowego (*Circus cyaneus*), dubelta (*Gallinago media*), uszatkę błotną (*Asio flammeus*), podróżniczkę (*Luscinia svecica*), wąsatkę (*Panurus biarmicus*), szczudlaka zwyczajnego (*Himantopus himantopus*).

Zaprzestanie nawadniania pól ściekami spowoduje zmianę warunków wodnych i tlenowych w glebie. Hydrauliczne obciążenie pól zmniejszy się o kilka tysięcy mm rocznie. Warunki wodne tego terenu będą więc zależne tylko od wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych w ciągu roku. W okresie wegetacyjnym teren ulegnie przesuszeniu. Wywoła to proces dosyć szybkiej mineralizacji (rozkładu) substancji organicznej zawartej w glebach. Wraz z postępem procesu mineralizacji substancji organicznej nastąpi zakwaszanie gleby, ponieważ rozkład bogatych w azot i siarkę substancji organicznych, pochodzących ze ścieków, wzbogaca glebę w jony wodorowe, co wykazały badania na byłych berlińskich polach irygowanych [BLUMENSTEIN i in. 1991]. W wyniku rozkładu substancji organicznej nastąpi też mineralizacja i wymywanie azotu zawartego w glebie. Azot w glebie pól irygowanych w ponad 90% występuje w formie organicznej [BLUMENSTEIN i in. 1991; CZYŻYK 1994]. W procesie mineralizacji substancji organicznej nastąpi jego przemiana w formy amonową i azotanową, które są łatwo rozpuszczalne i wymywane.

Wskutek mineralizacji substancji organicznych i zakwaszania gleby zwiększy się też wymywanie z niej fosforu. Fosfor związany w substancjach organicznych będzie, w miarę ich rozkładu, przechodził w rozpuszczalne w wodzie połączenia mineralne (ortofosforany). Również bardziej trwałe mineralne połączenia fosforowe, w miarę zakwaszania gleby, będą przechodziły w formy łatwiej wymywane.

Najbardziej niebezpieczne dla środowiska będzie jednak uwalnianie i wymywanie metali ciężkich, akumulowanych przez wiele lat w glebie pól irygowanych. Podobnie jak w przypadku fosforu, mineralizacja substancji organicznych oraz zakwaszanie środowiska glebowego prowadzi do przemiany złożonych i stosunkowo trwałych połączeń metaloorganicznych w formy prostsze i łatwiej wymywane z gleby do wód [HOFFMANN, RENGER 1998].

Oprócz zanieczyszczenia wód gruntowych i odpływających z pól wód powierzchniowych związkami azotu, fosforu, siarki i metali ciężkich, wystąpi też zanieczyszczenie innymi szkodliwymi substancjami, jak np. związkami z grupy hydroksylowej, m.in. fenolami i węglowodorami aromatycznymi. Procesy te wystąpiły w dużej skali między innymi po zaniechaniu nawodnień berlińskich pól irygo-

wanych i podczas prowadzenia na nich prac rekultywacyjnych [BLUMENSTEIN i in. 1991; HOFFMANN, RENGER 1998; Projekt... 2001]. Uruchomienie oczyszczalni ścieków Schönerlinde w 1984 r. zapoczątkowało zakończenie oczyszczania ścieków z Berlina-Północ na polach irygowanych. Dzień 30 kwietnia 1986 r. przyjęto jako oficjalne zakończenie trwającego około 90 lat oczyszczania ścieków na polach irygowanych w tym regionie. Zaplanowano, że na ich obszarze do 1987 r., na święto 750-lecia Berlina, zostaną utworzone rekreacyjne tereny leśne dla mieszkańców północno-wschodniej części miasta. Krytycy tego pomysłu, głównie ze środowiska gospodarki leśnej, nie znaleźli wówczas posłuchu. Pośpiesznie rozplantowano teren pól irygowanych i spulchniono glebę oraz posadzono ponad 50 gatunków drzew i krzewów. Skutki tych pośpiesznych działań wystąpiły już po dwóch latach. Na 60% powierzchni nastąpiło wymarcie młodych drzew. Według SCHLENTHERA i in. [1996] przyczyną tego był niedostatek wody (spowodowany obniżeniem się poziomu wody gruntowej) i toksyczne oddziaływanie metali ciężkich.

W latach 1984–1985 splantowano również przeważającą część południowych pól irygowanych (Berlin–Buch). Spulchnienie gruntu doprowadziło do silnej mineralizacji substancji organicznych i zakwaszenia wierzchnich warstw gleby. Wartości pH zmniejszyły się z 6 do 4,5. Zmniejszenie wartości pH doprowadziło do tworzenia podatnych na wymywanie związków metali ciężkich i przemieszczenia ich do pierwszego poziomu wód gruntowych. Jednocześnie, wskutek mineralizacji, powstały duże ilości azotanów, siarczanów oraz kompleksów hydroksylowych, również podatnych na przemieszczanie. Głębokie zakwaszenie, sięgające poniżej 150 cm p.p.t., spowodowane zostało prawdopodobnie przez utlenienie siarczków metali do siarczanów po zaprzestaniu nawadniania ściekami oraz obniżeniu poziomu wód gruntowych. Prowadzi ono do tego, że uruchomione jony metali ciężkich prawie nie ulegają w glebie zatrzymaniu i przemieszczają się wraz z wsiąkającą wodą [HOFFMANN, RENGER 1998].

W celu ograniczenia procesów szkodliwych dla środowiska opracowano projekt, w którym przewidziano mieszanie wierzchnich warstw gleby z gliną marglową, wydobywaną podczas prac budowlanych przy przedłużaniu linii kolei podziemnej w Berlinie [Modellprojekt... 2001]. W projekcie założono m.in., że przez w mieszanie zwałowej gliny marglowej w grunt pól irygowanych:

- utworzą się bardziej stabilne formy związków metali ciężkich w gruncie oraz zmniejszy się ich przemieszczanie [HOFFMANN, RENGER 1998; WILKE i in. 1996];
- zmniejszy się ekotoksykologiczny potencjał i stężenie toksycznych metali ciężkich w roztworze wodnym gleby oraz ograniczy ich szkodliwe oddziaływanie na rośliny i mikroorganizmy [KANDELER i in. 1988].

Warunki glebowe i klimatyczne wrocławskich pól irygowanych są podobne do warunków pól berlińskich. Wrocławskie pola były jednak eksploatowane przez około 30 lat dłużej. Niekorzystne dla środowiska procesy biochemiczne w glebie tych pól mogą więc mieć podobny, a nawet intensywniejszy przebieg. Obszar tych

pól w większości (około 800 ha) jest przewidziany pod budownictwo mieszkaniowe, parki i drogi [WILGOCKI 2012]. Odnośnie do rekultywacji tych pól (poprzedzającej zabudowę), po ich wyłączeniu z nawadniania ściekami, proponowane jest między innymi ich splantowanie, wapnowanie oraz uprawa roślin energetycznych [UP Wrocław 2011]. Są to propozycje grożące zaistnieniem na dużą skalę procesów szkodliwych dla środowiska, głównie wodnego. Wykazały to badania na byłych polach irygowanych Berlina [BLUMENSTEIN i in. 1992; HECKERT 1996; NÜTZMANN i in. 2000].

PODSUMOWANIE

Gleby wrocławskich pól irygowanych zawierają duże ilości pierwiastków biogennych (N, P) oraz metali ciężkich (zwłaszcza Zn, Cu, Pb). Zaprzestanie doprowadzania ścieków na te pola może zainicjować wiele procesów niebezpiecznych dla środowiska, przede wszystkim intensywną mineralizację substancji organicznej, zakwaszenie gleb i uwalnianie tych zasobów oraz ich odpływ do wód gruntowych i powierzchniowych. Rozmiary i szybkość przebiegu tych niekorzystnych procesów oraz ilość wymywanych składników szkodliwych dla środowiska wodnego będą zależały nie tylko od aktualnego zasobu tych składników w glebie pól irygowanych, ale też od kształtowania się w niej stosunków wodno-powietrznych.

Niekorzystnych procesów w glebie i wymywania zawartych w niej składników do wód gruntowych, a pośrednio również powierzchniowych, nie da się całkowicie zatrzymać, lecz można je spowolnić i znacznie ograniczyć przez odpowiednie działania. Do działań tych należy zaliczyć przede wszystkim:

- zapewnienie korzystnych warunków wodnych w glebie, w okresie wegetacyjnym;
- przeciwdziałanie zakwaszeniu gleby;
- prawidłowe, dalsze użytkowanie pól (jako wielokrotnie koszone użytki zielone) i odprowadzanie jak największej ilości składników w biomase plonów.

Niekorzystne warunki wodne w glebie i jej przesuszenie oraz podwyższone temperatury, sprzyjające intensywnej mineralizacji substancji organicznej, występują tylko w okresach wegetacyjnych (IV–X). Złagodzić tę sytuację może doprowadzenie na pola irygowane ścieków opadowych. Ścieki opadowe występują jednak tylko podczas większych opadów atmosferycznych, kiedy gleba jest wilgotna. Dlatego w okresach susz wiosenno-letnich i jesiennych pożądane byłoby nawadnianie pól, np. wodą z Odry. Doprowadzanie wody w okresach susz jest szczególnie ważne nie tylko dla spowolnienia procesów mineralizacji substancji organicznej w glebie, ale także dla ochrony istniejących w obrębie pól charakterystycznych ekosystemów hydrofitowych, będących siedliskiem licznych chronionych gatunków ptactwa. Ekosystemy te ulegną szybkiemu zanikowi w przypadku zaprzestania nawadniania pól i wynikającej z tego radykalnej zmiany warunków wodnych na ich obszarze. Trawy łąkowe są na ogół odporne na działanie okresowych susz, lecz

zespoły hydrofitowe wyginą w ciągu kilku lat. Nie można dopuścić do zniszczenia tych cennych ekologicznych enklaw.

Poprawę odczynu gleby można uzyskać przez jej wapnowanie. Bezpośrednio po wapnowaniu występuje jednak zintensyfikowanie procesu mineralizacji substancji organicznej, zwłaszcza w przypadku zastosowania wapna tlenkowego (CaO). Wapno tlenkowe przyspiesza mineralizację substancji organicznej (tzw. spalanie). W dłuższym okresie (kilku lat) wapnowanie daje korzystne wyniki. W przypadku warunków pól irygowanych nie należy jednak stosować wapna tlenkowego (nawet na glebach ciężkich), a zabieg przeprowadzać z zastosowaniem wapna węglanowego, wyłącznie powierzchniowo (bez mieszania wapna z glebą).

Najbardziej racjonalnym sposobem eksploatacji pól po zaprzestaniu doprowadzania do nich ścieków będzie dalsze utrzymywanie na nich użytków zielonych (łąk), kilkakrotnie koszonych w ciągu roku, i usuwanie plonów. Będzie to sposób najkorzystniejszy pod względem ekologicznym i prawdopodobnie też ekonomicznym. Trawy runi łąkowej pobierają z gleby składniki przez cały okres wegetacyjny. Z ich plonami można odprowadzać z gleby znacznie większe ilości składników niż z plonami jakiegokolwiek innej rośliny uprawnej, będzie to więc najszybszy sposób naturalnej bioremediacji gleby. Biomasa traw może być wykorzystana na cele energetyczne, jako odnawialne źródło energii. Niedopuszczalnym błędem byłoby niszczenie istniejącej struktury gleby (rozdrabnianie) i runi łąkowej oraz jej bogatego systemu korzeniowego, pobierającego składniki z całego profilu glebowego. Zniszczenie runi i spulchnienie gleby prowadzi do zwiększonego jej natlenienia, silnej mineralizacji substancji organicznych oraz negatywnych skutków dla środowiska.

LITERATURA

- BLUMENSTEIN O., GRUNEWALD K., SCHUBERT R. 1991. Das Altlastengebiet Rieselfelder Berlin-Süd -Eine geoökologische Herausforderung. Potsdam. Eigenverlag ss. 80.
- BLUMENSTEIN O., TRÖGER U., PORTMANN H.D. 1992. Rieselfelder südlich Berlin – Altlasten, Grundwasser Oberflächenwasser. 1. Zwischenbericht im Auftrag des LUA Brandenburg, Potsdam, Berlin. Trebbin ss. 321.
- BOGACZ A., PRZYBYLSKA M. 2010. Właściwości fizykochemiczne wybranych gleb torfowych na polach irygacyjnych Wrocławia. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 10. Z. 3(31) s. 33–40.
- CZYŻYK F. 1992. Effect of long term irrigation with municipal sewage on groundwater and effluent quality. ICID Bulletin CIID. Vol. 41 No. 1 s. 73–80.
- CZYŻYK F. 1994. Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-19-4 ss. 77.
- CZYŻYK F. 2000. Wyniki badania możliwości efektywnego oczyszczania ścieków m. Wrocławia na 100-letnich polach irygowanych w Osobowicach. W: Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry. Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Karpacz, 14–17 maja 2000 r. Wrocław. Wydaw. RZGW s. 71–76.
- CZYŻYK F., TALIK B. 1985. Badania pól irygowanych m. Wrocławia w Osobowicach. Wrocław. IMUZ. Maszynopis ss. 123 + tab. 18.

- GŁOWAĆSKI Z. (red.) 2001. Polska czerwona księga zwierząt. Kręgowce. Warszawa. PWRiL. ISBN 83-09-01735-9 ss. 452.
- HECKERT G. 1996. Schwermetallmobilisierung in Rieselfeldböden – Batch-Versuch, GBL-Versuch und Säulenexperiment im Methodenvergleich. Diplomarbeit am FG Geowissenschaften der TU – Berlin ss. 95.
- HOFFMANN C., RENGER M. 1998. Schwermetallmobilität in Rieselfeldböden. Bodenökologie und Bodengenese. Hef. 26 s. 30–39.
- KANDELER E., TSCHERKO D., WESSOLEK G. 1998. Reaktion von Bodenmikroorganismen auf Bodenkontamination. Bodenökologie und Bodengenese. Hef. 26 s. 100–107.
- KRATZ W. 1995. Untersuchungen zu organisch-chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch. Studien – und Tagungsberichte des LUA Brandenburg. Nr 9 s. 27–32.
- METZ R., HEROLD P., GRÜN M., MACHELETT B. 1991. Abschlussbericht zur Forschungsleistung “Umweltatlas Berlin – Schwermetallbelastung der Rieselfelder” und Dokumentation zu den Dateien “sm-süd”, “sm-nord 1”, “sm-nord 2”. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz. Berlin ss. 25.
- Modellprojekt zur Sanierung der Rieselfelder in Berlin-Buch [online]. [Dostęp 02.12.2001]. Dostępny w Internecie: <http://www.berliner-rieselfelder.de/sanierung/sanierung01.html>
- NÜTZMANN G., GINZEL G., HOLZBECHER E., SCHOLZ H., HOFFMANN C. 2000. Grundwasserschutz durch Bodenverbesserung auf ehemaligen Rieselfeldern: Folgenabschätzung mit Hilfe gekoppelter Modelle. Wasser und Boden. Hef. 52 (9) s. 9–14.
- ORŁOWSKI G. 2006. Zimowanie ptaków wodno-błotnych na polach irygacyjnych we Wrocławiu w sezonie 2004–2005. Ptaki Śląska. Nr 16 s. 166–170.
- ORŁOWSKI G., GÓRKA W. 2010. Lęgowe ugrupowania awifauny trzcinowisk i cenne gatunki siedlisk łąkowych pól irygacyjnych we Wrocławiu. Ornithologica. Z. 51 s. 77–92.
- ORŁOWSKI G., SĘK M. 2005. Semi-natural reedbeds as breeding habitat of bluethroat (*Luscinia svecica* L.) on sewage farm in Wrocław city (south-western Poland). Polish Journal Ecology. Vol. 53 s. 133–140.
- Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu 2011. Studium rekultywacji terenu znajdującego się na obszarze oczyszczalni ścieków – Pola osobowickie. Raport końcowy. Maszynopis ss. 115.
- Projekt zur Sicherung und Sanierung flachgründig belasteter Standorte. Rieselfelder im Norden Berlins [online]. [Dostęp 02.12.2001]. Dostępny w Internecie: <http://www.berliner-rieselfelder.de>
- SCHLENTCHER L., MARSCHNER B., HOFFMAN C., RENGER M. 1996. Ursachen mangelnder Anwuchserfolge bei der Aufforstung der Rieselfelder in Berlin-Buch, bodenkundliche Aspekte. Verhandlungen Gesellschaft Ökologie. Bd. 25 s. 349–359.
- SKIBNIEWSKI L. 1951. Rolnicze wykorzystanie ścieków miejskich i przemysłowych. Warszawa. PPW. ss. 214.
- STOFFREGEN H., HOFFMANN C. WESSOLEK G. 1998. Simulation des Stofftransportes unter pH-Einfluss am Beispiel von Rieselfeldern. Bodenökologie und Bodengenese. Hef. 26 s. 164–175.
- WIERZBICKI J. 1952. Działanie wód ściekowych na glebę. Wrocław. WTN ss. 92.
- WILGOCKI M. 2012. Pola irygacyjne: rezerwat przyrody czy mieszkaniówka [online]. [Dostęp 11.10.2012]. Dostępny w Internecie: <http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/1,35771,12654910.html>
- WILKE B. M., METZ R., MUSS M. 1996. Bodenüberdeckung und Bodenmischung zur Herabsetzung des Schwermetalltransfers beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Rieselfeldern. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101 s. 119–124.
- ŻOGAŁA P. 2011. Polska czerwona księga zwierząt – kręgowce [online]. [Dostęp 10.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://wildpoland.prv.pl/pdf2.pdf>

Franciszek CZYŻYK

**ENVIRONMENTAL HAZARD RESULTING
FROM THE LIQUIDATION
OF IRRIGATED FIELDS IN WROCLAW**

Key words: *environmental hazards, irrigated fields*

S u m m a r y

The paper presents the range of sewage loading to fields and some results of comprehensive studies on chemical soil properties in irrigated fields in Wrocław. As a result of nearly 130-year long functioning of fields treated with large wastewater loading, the soil underwent marked transformation and accumulated various compounds and elements especially: organic matter, nitrogen, phosphorus and heavy metals. After cessation of irrigation the water and air (oxygen) conditions in the soil will change radically. This will result in numerous unfavorable soil processes, mainly in rapid mineralization of organic matter, soil acidification and the release and outflow of large amounts of heavy metals and nutrients to aquatic environment. The negative effects will include the loss of wetland ecosystems, which are the habitat for many bird species. The possibilities of reducing the negative effects of the cessation of irrigation with sewage are also discussed.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. F. Czyżyk, Dolnośląski Ośrodek Badawczy ITP we Wrocławiu, ul. Berlinga 7, 51-209 Wrocław; tel. +48 (71) 367-80-92, e-mail: F.Czyzyk@itp.edu.pl