

Stanisław Krzanowski, Andrzej Jucherski, Andrzej Wałęga

WPŁYW PORY ROKU NA NIEZAWODNOŚĆ TECHNOLOGICZNĄ WIELOSTOPNIOWEJ, GRUNTOWO-ROŚLINNEJ, PRZYDOMOWEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Streszczenie

Tereny wiejskie, ze względu na specyfikę zabudowy wciąż w niewystarczającym stopniu mają uregulowaną gospodarkę ściekową. Ze względu na znaczne odległości między zabudowaniami oraz występujące często niedogodne warunki do budowy zbiorczej kanalizacji coraz powszechniej propagowane są niekonwencjonalne metody oczyszczania ścieków z tych terenów. Rozwiązania te powinny charakteryzować się znaczną skutecznością działania, niezawodnością i być atrakcyjne cenowo. Stosując takie systemy można w realiach polskiej wsi osiągnąć znacznie szybciej pożądane, równie dobre dla środowiska skutki ekologiczne, jak w przypadku planowanej budowy kanalizacji zbiorczej i lokalnej oczyszczalni ścieków. Coraz popularniejsze w naszym kraju stają się oczyszczalnie hydrofitowe, charakteryzujące się dużą sprawnością zmniejszania stężeń nie tylko zanieczyszczeń organicznych oraz zawiesin, ale również substancji biogennych, umożliwiające przy tym depozytowanie i mineralizację osadów wtórnych powstających po procesie biologicznego oczyszczania.

Jednym z czynników, który może w istotny sposób wpływać na procesy redukcji zanieczyszczeń w seminaturalnych technologiach oczyszczania jest temperatura ścieków i przebiegu procesu ich oczyszczania w złożu. W literaturze naukowej przedmiotu brakuje doniesień z badań terenowych na temat wpływu warunków zimowych na kinetykę przemian zanieczyszczeń organicznych i biogennych oraz uzyskane efekty pracy tego typu oczyszczalni. Wychodząc temu naprzeciw autorzy postawili sobie za cel w niniejszej pracy przeprowadzenie oceny wpływu okresu pozawegetacyjnego na efektywność redukcji zanieczyszczeń

organicznych, biogennych i zawiesiny ogólnej na urządzeniach ciągu technologicznego wybranej oczyszczalni przydomowej wykorzystując elementy teorii niezawodności.

Wpływ pory roku na redukcję analizowanych wskaźników zanieczyszczeń określono metodami statystycznymi wykorzystując, ze względu na liczebność próby poniżej 30 elementów, test t-Studenta istotności różnic pomiędzy średnimi na poziomie istotności $\alpha=0,05$ oraz elementy teorii niezawodności.

Analiza wykazała brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy rozpatrywanymi okresami odnośnie zanieczyszczeń organicznych, zawiesiny ogólnej i fosforanów na poziomie istotności $=0,05$. Jedynie w przypadku średnich stężeń azotu ogólnego w odpływie ze złoża poziomego obserwuje się statystycznie istotne różnice. Wynika to z faktu, iż procesy przemian azotu (nitryfikacja i denitryfikacja) uzależnione są, między innymi, od temperatury ścieków w złożu, której niskie wartości spowalniają szybkość i intensywność przemian biochemicznych. Można zauważyć, iż na złożu pionowym obserwuje się większy poziom niezawodności w okresie pozawegetacyjny w stosunku do wegetacyjnego dla analizowanych wskaźników za wyjątkiem zawiesiny ogólnej, dla której poziom ten wynosi $>99,9\%$ w obu okresach. Nie zmienia to faktu, iż w przypadku złoża pionowego obserwuje się wysokie efekty oczyszczania w odniesieniu od zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej. Również na złożu poziomym dla tych wskaźników obserwuje się bardzo wysoki poziom niezawodności w okresie pozawegetacyjnym. Jedynie w przypadku stężeń azotu ogólnego w okresie wegetacyjnym uzyskano wyższy poziom niezawodności, równy $94,4\%$ w porównaniu do pozawegetacyjnego ($89,55\%$).

Słowa kluczowe: oczyszczalnie gruntowo roślinne, niezawodność technologiczna

WSTĘP

Specyfika osadnictwa wiejskiego polegająca na rozproszonym charakterze zabudowy powinna wymuszać na projektantach i inwestorach stosowanie skutecznych, niezawodnych i względnie tanich rozwiązań technologicznych do oczyszczania małych ilości ścieków z zabudowań indywidualnych. Stosując takie systemy, można w realiach wsi polskiej osiągnąć znacznie szybciej pożądane, równie dobre dla środowiska skutki ekologiczne, jak w przypadku planowanej budowy, często w bliżej nieokreślonej przyszłości, kanalizacji zbiorczej i lokalnej oczyszczalni ścieków. Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami utylizacji ścieków z terenów o zabudowie rozproszonej są, powszechnie nieszczelne, zbiorniki bezodpływowe, a ostatnio także technologie oczyszczania w środowisku gruntowo-wodnym [Sikorski

1998; Siemieniec, Krzanowski 2000]. Coraz popularniejsze w naszym kraju są oczyszczalnie hydrofitowe, charakteryzujące się dużą sprawnością zmniejszania stężeń nie tylko zanieczyszczeń organicznych oraz zawiesin, ale również substancji biogennych, umożliwiające przy tym deponowanie i mineralizację osadów wtórnych powstających po procesie biologicznego oczyszczania [Gruntowo-roślinne... 1999; Jucherski, Walczowski 2002; Obarska-Pempkowiak, Gajewska 2004]. Przyjmuje się, że obecnie funkcjonuje w Polsce ponad 100 takich obiektów, w Czechach około 80, a w Niemczech 3500 [Obarska-Pempkowiak i in. 2003]. Tego typu rozwiązania są również coraz bardziej popularne i zalecane do stosowania na obszarach turystycznych, stanowiąc alternatywę dla kontenerowych oczyszczalni ścieków [Rauba 2003; Jucherski 2004].

Na terenach samej Sądcczyzny i dawnego województwa tarnowskiego IBMER GCB w Tyliczu wdrożył już ponad 150 autorskich projektów tego typu przydomowych instalacji oczyszczających ścieki.

Jednym z czynników, który może w istotny sposób wpływać na procesy redukcji zanieczyszczeń w seminaturalnych technologiach oczyszczania ścieków jest temperatura oczyszczanych ścieków [Obarska-Pempkowiak 2002]. W literaturze naukowej przedmiotu brakuje nadal doniesień z badań terenowych na temat roli warunków zimowych na kinetykę przemian zanieczyszczeń organicznych i biogennych i na uzyskane efekty pracy tego typu oczyszczalni [Kuczewski, Kercel, Paluch 1997; Jucherski 1998].

Chcąc więc ocenić wpływ poza wegetacyjnej pory roku na efektywność wybranej przydomowej oczyszczalni ścieków, dokonano analizy efektywności redukcji zanieczyszczeń organicznych, biogennych i zawiesin, wykorzystując elementy teorii niezawodnościowej urządzeń ciągu technologicznego.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEJ OCZYSZCZALNI

Przedmiotowa oczyszczalnia, wybudowana przez IBMER w Tyliczu, przeznaczona jest do oczyszczania ścieków bytowych odpływających z gospodarstwa agroturystycznego we wsi Muszynka w gminie Krynica, pow. nowosądecki. Gospodarstwo na stałe zamieszkuje pięciu mieszkańców, natomiast w sezonie turystycznym jest w stanie przyjąć piętnastu agrowczasowiczów. Obiekt ten jest autorskim rozwiązaniem zagrodowych oczyszczalni ścieków propagowanych przez

IBMER w Tyliczu i jest eksploatowany od jesieni 1997 roku. Jest to instalacja wielostopniowa, w skład której wchodzi: trójkomorowy osadnik gnilny o objętości części przepływowej równej $4,7 \text{ m}^3$, ociekowe złożo żwirowe o przepływie pionowym i powierzchni $10,5 \text{ m}^2$, złożo gruntowo-roślinne o przepływie poziomym, powierzchni 48 m^2 i głębokości $0,55 \text{ m}$ oraz stokowe złożo trawiasto-glebowe o powierzchni 30 m^2 , pełniące rolę doczyszczającą ścieki po wcześniejszych urządzeniach. Dokładna charakterystyka tego typu rozwiązań podana jest w pracy Jucherskiego i Walczowskiego [2002]. Schemat technologiczny analizowanej oczyszczalni przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat technologiczny zagrodowej oczyszczalni ścieków we wsi Muszynka

Figure 1. Technological scheme adjacent sewage treatment in Muszynka country

Zasadniczą przestrzeń filtracyjną złoża pionowego tworzy 45 cm warstwa żwiru o granulacji $2\text{--}8 \text{ mm}$. Powierzchnia złoża obsadzona jest trzcina oraz mozgą trzciniową. W celu równomiernego rozprowadzenia ścieków po powierzchni złoża nad warstwę filtracyjną umieszczono 15 cm warstwę piasku o uziarnieniu $2\text{--}4 \text{ mm}$, a ścieki doprowadzane są na jego powierzchnię za pomocą czterech specjalnie skonstruowanych tryskaczy. W okresie zimowym powierzchnia złoża przykrywana jest segmentami transparentnych płyt dachowych, wykonanych w formie i spełniających rolę kolektora słonecznego.

Początkową część złoża poziomego wypełniono kamieniami o średnicy $50\text{--}80 \text{ mm}$, gdzie osadzono studnię rozdzielczą wraz z przewodami rozprowadzającym ścieki na całej jego szerokości. Właściwe wypełnienie złoża stanowi miejscowa, przesiana zgrubnie, pospółka rzeczna. Złożo poziome w początkowej długości obsadzone jest pałką wodną a w dalszej części trzcina.

Stokowe złoże trawiasto-glebowe wykonane jest z przesianej, wierzchniej warstwy rodzimej gleby pokrytej segmentami darni układanej „na zakładkę”. Grubość warstwy filtracyjnej wynosi 25–30 cm. Złoże stokowe poprzedzone jest przestrzenią kamienistą do równomiernego rozprowadzenia ścieków podawanych porcjowo ze studzienki pompowej.

METODA OPRACOWANIA

Badania dotyczące jakości ścieków surowych oraz odpływających po poszczególnych urządzeniach ciągu technologicznego obejmowały okres od jesieni 1997 do lata 2000 roku, który podzielony został na sezon wegetacyjny (maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik) i pozawegetacyjny (listopad, grudzień, styczeń, luty, marzec, kwiecień,). Przeprowadzenie badań oddzielnie dla okresu wegetacyjnego i pozawegetacyjnego miało na celu określenie wpływu pory roku na uzyskane efekty redukcji zanieczyszczeń na poszczególnych elementach ciągu. Wskaźniki jakościowe, które brano pod uwagę w ocenie niezawodnościowej podzielono na organiczne (BZT_5 , $ChZT_{Cr}$), biogenne (azot ogólny, fosforany) oraz zawiesinę ogólną. Dla wymienionych wskaźników zanieczyszczeń obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne: średnią, medianę, wariancję, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, minimum, maksimum i rozstęp.

Wpływ pory roku na redukcję analizowanych wskaźników zanieczyszczeń określono metodami statystycznymi wykorzystując, ze względu na liczebność próby poniżej 30 elementów, test t-Studenta istotności różnic pomiędzy średnimi na poziomie istotności $\alpha=0,05$ oraz elementy teorii niezawodności. Pod pojęciem niezawodności rozumiemy zdolność do unieszkodliwiania przewidywanej ilości ścieków w stopniu wymaganym ze względu na odbiornik ścieków przy określonych warunkach istnienia i eksploatacji oczyszczalni, w ciągu założonego okresu eksploatacji oraz przy losowych zmianach charakterystyk funkcjonalnych elementów oczyszczalni [Rak, Wieczysty 1997; Andraka, Dzienis 2003]. Niezawodność pracy oczyszczalni wyznaczono na podstawie współczynnika niezawodności WN . Dokładna metodologia wyznaczania niezawodności ciągu technologicznego oczyszczalni podana jest w pracach Andraki [1997], Andraki i Dzienisa [2003] oraz

Krzanowskiego i Wałęgi [2004]. Dysponując danymi odnośnie wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń na odpływie ze złoża pionowego i poziomego, sporządzono empiryczne dystrybuanty standaryzowane, które następnie posłużyły do wyznaczenia poziomu niezawodności empirycznej w zależności od współczynnika niezawodności WN. W obliczeniach pominięto ostatnie stokowe złożo trawiasto-glebowe ze względu na zbyt małą liczbę pomiarów. Obliczenia statystyczne przeprowadzono w programie *Statistica for Windows*.

ZMNIEJSZENIE STEŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH NA POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTACH CIĄGU TECHNOLOGICZ- NEO

Podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w odpływie z poszczególnych urządzeń eksploatowanego ciągu technologicznego podano w tabeli 1.

W przypadku ścieków poddanych sedymentacji wstępnej w osadniku gnilnym nie obserwuje się istotnych różnic w ich składzie fizykochemicznym w rozpatrywanych sezonach wegetacyjnym i poza-wegetacyjnym. Na uwagę zasługują wysokie wartości BZT₅, ChZT i azotu ogólnego w odpływie z osadnika gnilnego. Wartości te są przeciętnie dwu a nawet trzykrotnie wyższe w porównaniu z danymi z innych tego typu obiektów [Błażejowski 2003a i b]. Wysokie wyniki zawartości substancji organicznej i azotu ogólnego można tłumaczyć okresowym wzrostem dopływającego do osadnika ładunku zanieczyszczeń spowodowanym zwiększeniem ilości zamieszkujących gospodarstwo osób i zwiększeniem popłuczyn kuchennych przy oszczędnym gospodarowaniu wodą, pomimo agroturystycznego charakteru gospodarstwa.

Powszechnie uważa się, iż złoża gruntowo-roślinne o przepływie pionowym VF-CW przyczyniają się do znacznej redukcji zanieczyszczeń organicznych i azotu amonowego [Błażejowski 2003a; Jucherski, Walczowski 2002; Obarska-Pempkowiak 2002; Obarska-Pempkowiak i in. 2003; Obarska-Pempkowiak, Gajewska 2004]. Wpływ na to ma jego lepsze natlenienie dzięki okresowemu dozowaniu ścieków, co wpływa na większą szybkość przemian biochemicznych substancji organicznej i nityfikację azotu amonowego.

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń na odpływie z poszczególnych urządzeń oczyszczalni
Table 1. Statistical characteristic analysed pollutants in outflow following appliance sewage treatment

Parametr	BZT ₅ mgO ₂ ·dm ⁻³		ChZT _{Cr} mgO ₂ ·dm ⁻³		Zawiesina ogólna mg·dm ⁻³		Azot ogólny mgN _{og} ·dm ⁻³		Fosforany mgPO ₄ ·dm ⁻³	
	weget.	poweg.	weget.	poweg.	weget.	poweg.	weget.	poweg.	weget.	poweg.
Osadnik gnilny / Septic tank										
średnia	501,3	444,79	723,48	722,07	58,22	59,05	127,67	133,31	21,82	23,4
mediana	455,0	455,0	691,0	711,0	52,0	47,0	119,3	132,0	20,85	23,7
wariancja	22552,8	8713,6	31843,4	19523,25	915,8	966,15	1253,9	662,98	34,0	105,66
min	330,0	264,2	513,0	487,0	20,0	23,0	74,5	89,1	10,43	3,67
max	980,0	600,0	1445,0	961,0	131,0	131,2	232,0	184,3	34,3	50,1
rozstęp	650,0	335,8	932,0	474,0	111,0	108,2	157,5	95,2	23,85	46,4
odch. st.	150,17	93,35	178,45	139,73	30,26	31,08	35,4	25,75	5,83	10,3
wsp. zm.	0,30	0,21	0,25	0,193	0,52	0,53	0,28	0,19	0,28	0,44
Złoże żwirowe o przepływie pionowym / Gravel bed with vertical flow										
średnia	34,8	30,5	114,0	125,99	13,67	18,81	76,25	78,96	17,03	17,73
mediana	26,0	24,0	84,0	119,5	12,2	18,0	71,95	77,65	16,75	17,56
wariancja	1019,9	531,7	5601,3	4017,1	73,13	94,04	342,98	347,23	17,69	65,08
min	5,0	1,0	36,0	50,0	3,0	5,5	47,7	39,9	7,96	3,69
max	135,0	914,0	398,0	369,0	37,0	40,0	108,1	112,2	25,36	36,9
rozstęp	130,0	93,0	362,0	319,0	34,0	34,5	60,4	72,3	17,4	33,21
odch. st.	31,9	23,06	74,84	63,4	8,55	9,7	18,52	18,63	4,20	8,07
wsp. zm.	0,92	0,67	0,66	0,49	0,63	0,55	0,24	0,24	0,25	0,43
redukcja %	93,1	93,1	84,2	82,5	76,5	68,1	40,3	40,8	21,9	24,3
Złoże gruntowo-roślinne o przepływie poziomym / Plant-ground bed with horizontal flow										
średnia	13,52	10,4	34,8	38,49	9,5	9,38	37,52	49,29	5,68	4,85
mediana	7,0	6,3	34,0	34,0	8,6	8,6	33,2	45,7	5,35	4,78
wariancja	235,8	126,5	116,8	539,7	43,25	37,44	216,4	225,2	9,30	7,49
min	2,0	2,0	16,0	2,0	0,5	1,0	17,5	31,8	1,14	0,22
max	70,0	41,0	61,0	91,1	23,1	23,0	81,2	81,2	13,96	10,28
rozstęp	68,0	39,0	45,0	89,1	22,6	22,0	63,7	49,4	12,82	10,06
odch. st.	15,36	11,25	10,81	23,23	6,58	6,12	14,7	15,0	3,05	2,74
wsp. zm.	1,12	1,07	0,30	0,59	0,65	0,65	0,39	0,30	0,54	0,56
redukcja %	61,1	65,9	69,5	69,45	30,5	50,1	50,8	37,6	66,6	72,6
redukcja ogółem %	97,3	97,7	95,2	94,7	83,7	84,1	70,6	63,0	73,9	79,3

Uzyskane wyniki (tab. 1) potwierdzają wcześniejszą tezę. Średnia wartość BZT₅ ścieków odpływających ze złoża pionowego wynosiła 34,8 w okresie wegetacyjnym i 30,5 mgO₂·dm⁻³ w pozawegetacyjnym oraz wielkość redukcji 93,1%. Dla ChZT wartości te wynosiły odpowiednio – 114 i 125,99 mgO₂·dm⁻³, przy redukcji 84,2 i 82,5%. Złoże

pionowe wykazuje nieco mniejszą redukcję zawiesiny ogólnej równą 76,5% w okresie wegetacyjnym i 68,1% w pozawegetacyjnym. W tym przypadku nie stanowi to jednak problemu, gdyż ścieki odprowadzane z osadnika gnilnego charakteryzują się bardzo niskim stężeniem zawiesiny ogólnej na poziomie 58–59 mg·dm⁻³. Redukcja azotu ogólnego w złożu pionowym wynosiła przeciętnie 40,5% przy średnim stężeniu 76,25 mgN_{og}·dm⁻³ w okresie wegetacyjnym i 78,96 mgN_{og}·dm⁻³ w pozawegetacyjnym. Na uwagę zasługuje fakt niewielkiej redukcji fosforanów w złożu wynoszącej 21,9% w okresie wegetacyjnym i 24,3% w pozawegetacyjnym. Podobne wielkości redukcji BZT₅ na złożu pionowym uzyskali Sroka i Mierzejewski [Obarska-Pempkowiak, Gajewska 2004].

Zbliżone wartości azotu ogólnego w odpływie ze złoża pionowego obsadzonego trzcina uzyskał Józwiakowski [2003]. Przyczyną dużych stężeń tej formy azotu w odpływie ze złoża może być brak wykaszania roślinności. Wprawdzie nie zaleca się usuwania trzciny ze złóż gruntowych, jednak badania szwedzkie potwierdzają, że w biomacie roślin usuwanych zatrzymywane jest 9% azotu i kilka procent fosforu. Niewielka redukcja fosforanów może być spowodowana, krótkim czasem retencji ścieków, a mniej wyczerpaniem się pojemności sorpcyjnej złoża pionowego. Jak podaje Cooper i inni [1998] złoża VF-CW nie są predysponowane do usuwania zawiesiny i związanych z nią fosforanów ze względu na szybką kolmatację warstw filtracyjnych. Nieco mniejszą redukcję zanieczyszczeń obserwuje się na kolejnym złożu z poziomym przepływem ścieków HF-CW. W przypadku BZT₅ wielkość redukcji wynosi dla okresu wegetacyjnego i pozawegetacyjnego odpowiednio 61,1 i 65,9%, ChZT 69,5%, zawiesiny ogólnej – 30,5 i 50,1%, azotu ogólnego – 37,6 i 50,8% oraz fosforanów – 66,6 i 72,6%. Mniejsza redukcja zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w porównaniu z wynikami uzyskanymi przez innych autorów [Krzanowski, Miernik 2001; Tatara 2002] spowodowana jest tym, iż na badane złożo dopływają ścieki w znacznym stopniu podczyszczone na wcześniejszych urządzeniach. Obserwuje się natomiast większą redukcję zanieczyszczeń biogennych w stosunku do złoża pionowego. Fakt ten można tłumaczyć tym, iż na złożu HF-CW istnieją dogodne warunki do wystąpienia procesu denitryfikacji związków azotu, a w przypadku fosforanów występującej znacznej zdolności sorpcyjnej warstwy filtracyjnej [Błażejewski 2003a; Obarska-Pempkowiak 2002].

Ogólnie można stwierdzić, iż obiekt w Muszynie pracujący jako oczyszczalnia wielostopniowa uzyskuje bardzo wysoką sprawność działania w przypadku analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. Wielkości redukcji wynoszą odpowiednio dla BZT₅ ponad 97%, ChZT około 95%, zawiesiny ogólnej 84%, azotu ogólnego 63–70,6% i fosforanów 73,9–79,3% w zależności od sezonu. Wyniki te potwierdzają doniesienia innych autorów [Jucherski, Walczowski 2002; Obarska-Pempkowiak 2002; Obarska-Pempkowiak i in. 2003; Obarska-Pempkowiak, Gajewska 2004] o dużej skuteczności pracy obiektów wielostopniowych w redukcji zawiesin, zanieczyszczeń organicznych i biogennych. Jak podaje Obarska-Pempkowiak i Gajewska [2004] w układach tych możliwa jest wysoka i stabilna redukcja związków azotu w porównaniu do obiektów jednostopniowych wynosząca od 4,2 do 14,6 kgN·ha⁻¹·d⁻¹.

W badanej oczyszczalni w celu doczyszczenia ścieków zastosowano dodatkowo III element w postaci stokowego złoża trawiastogłębowego. Zgodnie z badaniami Jucherskiego [2001] tego typu złoża pełnią skuteczną rolę w doczyszczeniu ścieków, zwłaszcza w przypadku zanieczyszczeń biogennych oraz mogą skutecznie zastąpić bardziej skomplikowane technicznie rozwiązania złóż gruntowo-roślinnych. Uzyskane wyniki potwierdzają to stwierdzenie, gdyż przeciętna wartość BZT₅ na odpływie ze złoża stokowego wynosi 4,25 w okresie wegetacyjnym i 4,50 mgO₂·dm⁻³ w pozawegetacyjnym, ChZT odpowiednio 33,83 i 39,7 mgO₂·dm⁻³, zawiesiny ogólnej 10,8 i 14,7 mg·dm⁻³, azotu ogólnego 24,9 i 14,5 mgN_{og}·dm⁻³ oraz fosforanów 1,63 i 2,93 mgPO₄·dm⁻³.

WPLYW SEZONOWOŚCI ROKU NA NIEZAWODNOŚĆ PRACY OCZYSZCZALNI

Istotność różnic między średnimi wartościami analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w okresie wegetacyjnym i pozawegetacyjnym na odpływie ze złoża pionowego i poziomego przedstawiono w tabeli 2. Analiza wykazała brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy rozpatrywanymi okresami odnośnie zanieczyszczeń organicznych, zawiesiny ogólnej i fosforanów na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Jedynie w przypadku średnich stężeń azotu ogólnego w odpływie ze złoża poziomego obserwuje się statystycznie istotne różnice. Wynika to z faktu, iż procesy przemian azotu (nitryfikacja i denitryfikacja) uzależnione są, między innymi, od temperatury ścieków w złożu, któ-

rej niskie wartości spowalniają szybkość i intensywność przemian biochemicznych. Brak istotnego wpływu sezonowości roku na średnie wartości zanieczyszczeń organicznych i zawiesin można tłumaczyć znaczną zdolnością retencyjną złoża w odniesieniu do dopływających ścieków, pozostawieniem roślinności porastającej badane obiekty na zimę w celu wytworzenia warstwy izolacji termicznej oraz zasilania złoża florą bakteryjną rozwijającą się na systemie korzeniowym trzciny [Obarska-Pempkowiak 2002]. Podobny brak wpływu sezonu roku na pracę gruntowo-roślinnej oczyszczalni wykazał Miernik [2003], badając zawartość biogenów w odpływie ze złoża HF-CW w Moszcznicy. Również badania Krzanowskiego i Miernika [1997], przeprowadzone w Krzelowie na złożu gruntowo-roślinnym porośniętym trzcina, pracującym jako III stopień oczyszczania ścieków po złożu biologicznym, potwierdzają pogląd, że także w okresie zimowym rozwiązania te uzyskują wysoką sprawność działania odnośnie do redukcji zanieczyszczeń organicznych i zawiesin.

Tabela 2. Wyniki testu t-Studenta istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami analizowanych wskaźników zanieczyszczeń na odpływie z badanych złożów
Table 2. Results of t-Student test significant different between average of value analysed pollutants in outflow in beds

Wskaźnik	Średnie stężenie [mg·dm ⁻³] w okresie		Wartość testu t	Prawdopodobieństwo testowe p
	wegetacyjnym	pozaweget.		
Złoże zwirowe o przepływie pionowym / Gravel bed with vertical flow				
BZT ₅	34,80	30,50	0,38	0,71
ChZT _{Cr}	114,0	125,99	-0,59	0,55
zawiesina og.	13,67	18,81	-0,90	0,37
azot ogólny	76,25	78,96	-0,54	0,59
fosforany	17,03	17,73	-0,52	0,605
Złoże gruntowo-roślinne o przepływie poziomym / Plant-ground bed with horizontal flow				
BZT ₅	13,52	10,40	0,84	0,41
ChZT _{Cr}	34,80	38,49	-0,67	0,51
zawiesina og.	9,50	9,38	0,204	0,84
azot ogólny	37,52	49,29	-2,96	0,0045
fosforany	5,68	4,85	1,17	0,25

Obniżenie efektywności oczyszczania ścieków w eksploatowanej oczyszczalni ze względu na azot amonowy i fosfor autorzy tłumaczą

wyczerpaniem się pojemności kompleksu sorpcyjnego lub przeciążeniem hydraulicznym. Nieco odmienne wyniki od podanych uzyskały Kalisz i Sałbut [1997]. Wyniki tych badań wskazują na nieco lepsze efekty redukcji zanieczyszczeń na złożu porośniętym trzcina w okresie wegetacyjnym przy tych samych obciążeniach hydraulicznych. Autorki prowadziły badania na modelach laboratoryjnych złóż zasilając je ściekami syntetycznymi i stąd prawdopodobna rozbieżność wyników.

Ocena niezawodności działania oczyszczalni ścieków wciąż jeszcze nie jest tematem zainteresowań szerszego kręgu zarówno naukowców, jak i praktyków inżynierii środowiska. Wykorzystanie wybranych metod i technik niezawodności może się okazać bardzo przydatne w praktyce eksploatacyjnej urządzeń oczyszczania ścieków, pomagając w osiągnięciu podstawowego celu jakim jest uzyskanie w odpływie z oczyszczalni zawartości wskaźników zanieczyszczeń wymaganych stosownymi rozporządzeniami. W artykule wyznaczono niezawodność pracy oczyszczalni na podstawie aktualnego obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 roku. Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w tabeli 3.

Przeprowadzona analiza wykazała wysoką niezawodność funkcjonowania badanego ciągu technologicznego pod względem eliminacji ze ścieków zanieczyszczeń organicznych i zawiesin ogólnych (współczynnik niezawodności WN wahał się od 0,19 do 0,87). Mniejsze różnice w wartościach WN w obu analizowanych okresach obserwuje się na złożu o przepływie poziomym, co świadczy o większej stabilności procesów w nim zachodzących. Wynika to z faktu iż wcześniej ścieki zostały podczyszczane na złożu o przepływie pionowym, w związku z tym dopływając na złożo poziome HF-CW były w znacznym stopniu pozbawione zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej. Większe wartości współczynnika niezawodności WN w przypadku azotu ogólnego i fosforanów (od 2,54 do 3,58) zaobserwowano na złożu pionowym. Niska skuteczność jego pracy wynika stąd, iż złożo to pracując jako wstępne, jest narażone na znaczną nierównomierność dopływu ścieków i przeciążenie ładunkiem zanieczyszczeń biogenych. Odpływ ze złoża poziomego charakteryzował się znacznie niższymi wartościami współczynnika niezawodności, na co mają wpływ dalsze procesy oczyszczania. W przypadku złoża poziomego zaobserwowano większe różnice w wartościach współczynnika WN w obu sezonach roku w porównaniu do wcześniejszego złoża pionowego.

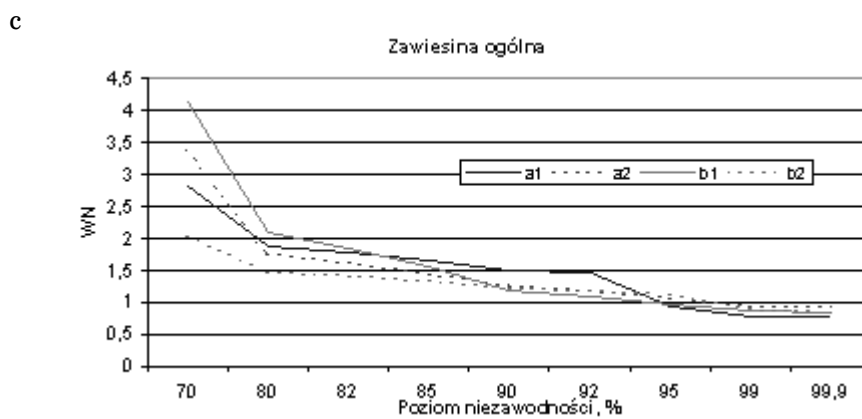
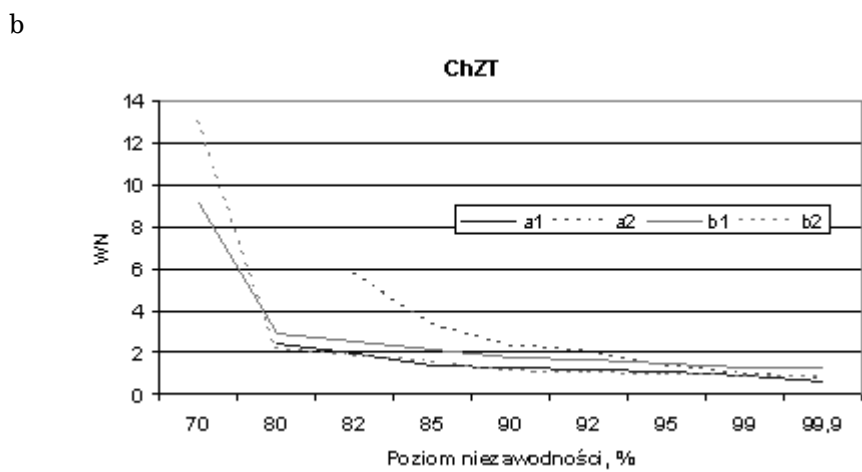
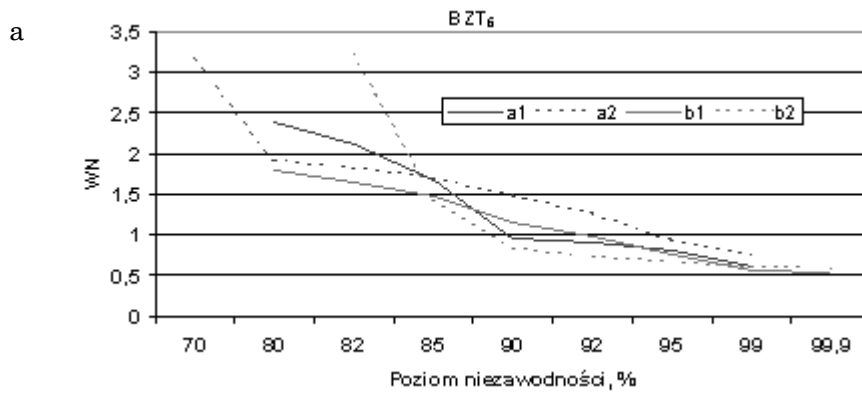
Tabela 3. Wyniki analizy niezawodnościowej ciągu technologicznego oczyszczalni w Muszynie

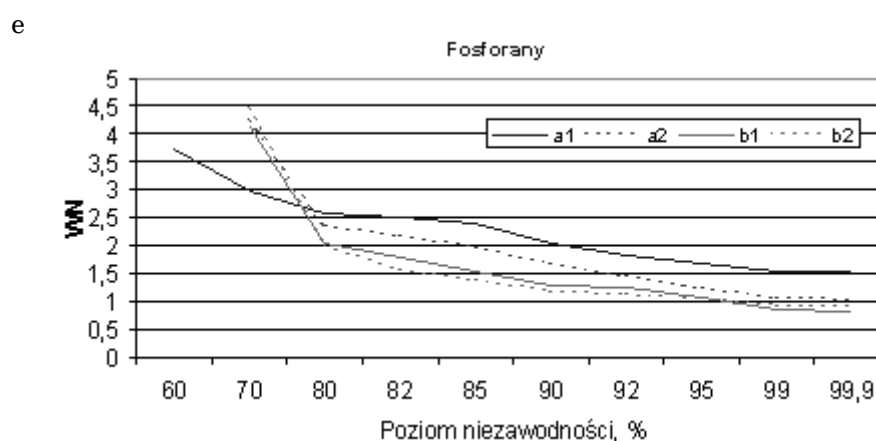
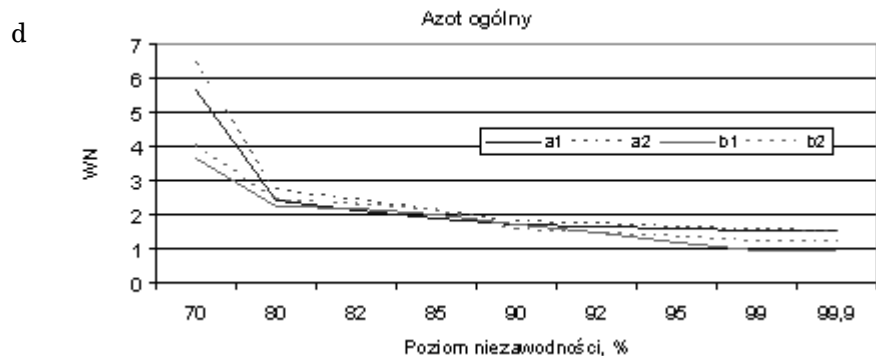
Table 3. Results analysed reliability sewage treatment in Muszynka country

Wskaźnik	Okres wegetacyjny				Okres pozawegetacyjny		
	Stężenie dopuszczalne X_{dop} , mg·dm ⁻³	Średnie stężenie w odpływie X_{sr} , mg·dm ⁻³	WN*	Poziom niezawodności 1- α %	Średnie stężenie w odpływie mg·dm ⁻³	WN	Poziom niezawodności 1- α %
Złoże żwirowe o przepływie pionowym / Gravel bed with vertical flow							
BZT ₅	40	34,80	0,87	93,02	30,50	0,78	98,33
ChZT _{Cr}	150	114,0	0,76	99,47	125,99	0,83	99,65
zaw. og.	50	13,67	0,31	>99,9	18,81	0,36	>99,9
azot og.	30	76,25	2,54	79,61	78,96	2,67	80,55
fosforany	5	17,03	3,40	64,2	17,73	3,58	73,4
Złoże gruntowo-roślinne o przepływie poziomym / Plant-ground bed with horizontal flow							
BZT ₅	40	13,52	0,34	>99,9	10,40	0,26	>99,9
ChZT _{Cr}	150	34,80	0,23	>99,9	34,49	0,25	>99,9
aaw. og.	50	9,50	0,19	>99,9	9,38	0,19	>99,9
azot og.	30	37,52	1,25	94,4	49,29	1,64	89,55
fosforany	5	5,68	1,14	93,69	4,85	0,95	98,0

*- $WN = X_{sr}/X_{dop}$; X_{sr} – średnie stężenie w odpływie, X_{dop} – wartość dopuszczalna

Dla wyliczonych wartości współczynnika niezawodności WN określono poziom niezawodności dla rozkładu empirycznego. Wyniki podano w tabeli 3 i na rysunkach 2 a, b, c, d, i e. W przypadku zanieczyszczeń organicznych (BZT₅ i ChZT_{Cr}) obserwuje się rozbieżności w uzyskanych wynikach dla obu rozpatrywanych sezonów. Różnice w poziomie niezawodności uzyskane na złożu pionowym w przypadku zawiesiny ogólnej i fosforanów świadczą o czasowej jego kolmatacji. Proces usuwania fosforanów ulega stabilizacji na kolejnym złożu HF-CW. Niewielkie rozbieżności w poziomie niezawodności usuwania zawiesiny ogólnej na złożu poziomym w obszarze powyżej 1- α >90% świadczy, iż zatrzymywanie tego wskaźnika zanieczyszczeń może być uzależnione od stężenia początkowego (przy niższych stężeniach nie obserwuje się wpływu czynników zewnętrznych). W przypadku azotu ogólnego nie obserwuje się znacznych różnic w poziomie niezawodności pomiędzy okresem wegetacyjnym i pozawegetacyjnym na obu złożach w zakresie prawdopodobieństw > 80%.





Rysunek 2. Wyliczony poziom niezawodności dla danego współczynnika niezawodności WN analizowanych wskaźników zanieczyszczeń: a1 – złożo pionowe – okres wegetacyjny, a2 – złożo pionowe – okres pozawegetacyjny, b1 – złożo poziome – okres wegetacyjny, b2 – złożo poziome – okres pozawegetacyjny

Figure 2. Reliability testing for reliability of coefficient analysed of pollutant indicator: a1 – vertical bed – vegetative season, a2 – vertical bed – off seasons vegetative, b1 – horizontal bed – vegetative season, b2 – horizontal bed – off seasons vegetative

Analizując dane zawarte w tabeli 3 i na rysunku 2, można zauważyć, iż na złożu pionowym obserwuje się większy poziom niezawodności w okresie pozawegetacyjnym dla wszystkich wskaźników za wyjątkiem zawiesiny ogólnej, dla której poziom ten wynosi >99,9% w obu okresach. Nie zmienia to faktu, iż w przypadku złoża pionowego obserwuje się wysokie efekty oczyszczania w odniesieniu do zanie-

czyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej. Również na złożu poziomym dla tych wskaźników obserwuje się bardzo wysoki poziom niezawodności w okresie pozawegetacyjnym. Jedynie w przypadku stężeń azotu ogólnego w okresie wegetacyjnym uzyskano wyższy poziom niezawodności, równy 94,4% w porównaniu do pozawegetacyjnego (89,55%). Wyniki te potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia uzyskane z obliczeń testem t-Studenta oraz przedstawione przez Kuzak [2004].

Generalnie można stwierdzić, iż cały ciąg technologiczny oczyszczalni w Muszynie odznacza się wysoką niezawodnością w usuwaniu analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. Aby zapewnić w odpływie z oczyszczalni zawartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń zgodne z wymogami aktualnie obowiązującego Rozporządzenia [2004], wystarczyłaby instalacja składająca się z osadnika gnilnego i złoża gruntowo-roślinnego o przepływie pionowym. Instalacja ta zapewniłaby wysoką niezawodność usuwaniu zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej. Mimo, iż w przypadku małych oczyszczalni (<2000 MR) nie ma wymagań, co do usuwania związków biogenych, (za wyjątkiem oczyszczalni znajdujących się w zlewni zbiorników wód stojących), to ze względu na zagrożenie zanieczyszczenia wód gruntowych azotanami, powszechne na terenach wiejskich, konieczne jest propagowanie instalacji wielostopniowych. Na analizowanym obiekcie zastosowano złożo gruntowo-roślinne o przepływie poziomym jako drugi stopień biologiczny, w celu dalszej redukcji związków azotu i fosforu. Przykłady innych rozwiązań podają między innymi Jucherski i Walczowski [2002] oraz Halicki [2003]. W skład urządzeń oczyszczających ścieki mogą wchodzić stawy denitryfikacyjne, stawy stabilizacyjne, oczka wodne czy stokowe złoża gruntowo-darniowe.

WNIOSKI

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonej analizy nasuwają się następujące wnioski:

1. Redukcja zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w głównej mierze zachodzi na pierwszym gruntowo-roślinnym złożu o przepływie pionowym. Wpływ na to ma jego lepsze natlenienie ze względu na okresowe dawkowanie ścieków.

2. Właściwa redukcja azotu ogólnego i fosforanów zachodzi na drugim złożu o przepływie poziomym.

3. Ścieki odpływające po złożu poziomym charakteryzują się niskimi wartościami analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. Wielkość redukcji zanieczyszczeń wynosi w przypadku BZT₅ ponad 97%, ChZT około 95%, zawiesiny ogólnej 84%, azotu ogólnego od 63 do 71% i fosforanów w granicach 74–79,3% w zależności od sezonu roku.

4. Stokowe złożo trawiasto-glebowe w analizowanej oczyszczalni pełni rolę doczyszczającą ścieki z zanieczyszczeń organicznych (BZT₅) i biogenych. W przypadku BZT₅ średnie wartości w odpływie z tego złoża wyniosły 4,25 mg·dm⁻³ w okresie wegetacyjnym i 4,50 mg·dm⁻³ w pozawegetacyjnym, fosforanów odpowiednio: 1,63 mg·dm⁻³ i 2,93 mg·dm⁻³ oraz azotu ogólnego: 24,9 mg·dm⁻³ i 14,5 mg·dm⁻³.

5. Nie obserwuje się wpływu sezonu roku na zawartość wskaźników zanieczyszczeń, za wyjątkiem azotu ogólnego w odpływie ze złoża poziomego. W przypadku wartości stężenia tej formy azotu wpływ na to mają warunki termiczne sezonu pozawegetacyjnego limitujące szybkość denitryfikacji.

6. Analiza niezawodnościowa wykazała lepszą pracę oczyszczalni w okresie pozawegetacyjnym oraz poprawiającą się na każdym stopniu jakość odpływu. Różnice w poziomie niezawodności w przypadku fosforanów w odpływie ze złoża poziomego świadczą o okresowej jego kolmatacji. Ogólnie można stwierdzić wysoką niezawodność badanego ciągu technologicznego w odniesieniu do redukcji analizowanych wskaźników zanieczyszczeń.

7. Mimo, iż aktualnie obowiązujące przepisy w przypadku małych oczyszczalni ścieków (<2000 MR) nie wymagają redukcji związków biogenych, za wyjątkiem oczyszczalni znajdujących się w pobliżu zbiorników wód stojących, to jednak ze względu na ochronę wód gruntowych stosowane technologie oczyszczania małych ilości ścieków powinny charakteryzować się jak największą sprawnością w usuwaniu związków azotu. Dlatego powinny być promowane niekonwencjonalne rozwiązania takie jak: stokowe złoża gruntowo-darniowe, stawy denitryfikacyjne i oczka wodne.

BIBLIOGRAFIA

Andraka D. *Prognozowanie niezawodności oczyszczalni ścieków na przykładzie miejskiej oczyszczalni w Grajewie*. Mat. IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Rajgród, 1997, s. 366–373.

- Andraka D., Dzienis L. *Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich*. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, z. 16, Białystok, 2003, s. 24–28.
- Błażejowski R. *Kanalizacja wsi*. PZiTS Oddział Wielkopolski, Poznań 2003a.
- Błażejowski R. *Wymiarowanie a eksploatacja osadników gnilnych*. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, z. 16, Białystok 2003b, s. 98–103.
- Cooper P., Griffin P., Humphries S., Pound A. *Design of a hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage*. Proc. of 6th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Chapter 4 – Design of Wetland Systems, Brazil 1998, s. 243–252.
- Gruntowo-roślinne oczyszczalnie ścieków*. Praca zbiorowa pod redakcją Szpindor A., Wierzbicki K., Obarska-Pempkowiak H. IBMER, Warszawa 1999.
- Halicki W. *Przydomowe naturalne oczyszczalnie ścieków z podwyższonym usuwaniem azotu ze ścieków [w:] Projektowanie, budowa i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków*, Poznań 2003, s. 35–43.
- Jóźwiakowski K. *Analiza efektów oczyszczania ścieków bytowych w oczyszczalniach przydomowych na terenach wiejskich na przykładzie wybranych obiektów w województwie lubelskim*. Acta Scientiarum Polonorum, Seria Formatko Circumiectus 2(1), 2003, s. 3–14.
- Jucherski A. *Efektywność gruntowo-roślinnych systemów oczyszczania ścieków w górskich gospodarstwach rolnych w okresie jesienno-zimowym*. Materiały na V Konferencję Naukową „Infrastruktura Techniczna Wsi ku Integracji Europejskiej”. AR Kraków, Szczucin 1998, s. 87–95.
- Jucherski A. *Nowa koncepcja oczyszczania ścieków w górach – zagrodowa oczyszczalnia ze stokowym złożem darniowo-glebowym*. Problemy Inżynierii Rolniczej 3 (33), 2001, s. 59–66.
- Jucherski A. *Oczyszczanie ścieków w wiejskiej zabudowie rozproszonej wg koncepcji IBMER*. Inżynieria Rolnicza Nr 1 (56), 2004, s. 137–146.
- Jucherski A., Walczowski A. *Oczyszczanie ścieków w zagrodowych instalacjach gruntowo-roślinnych na terenach rolniczych Polski Południowej*. Sanitacja Wsi, Przyzagrodowe Oczyszczalnie Ścieków, IBMER Krynica 2002.
- Kalisz L., Sałbut J. *Zastosowanie trzciny do oczyszczania ścieków i odwadniania osadów*. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych, 11, 1997.
- Krzanowski S., Miernik W. *Wykorzystanie złóż trzcinowych do doczyszczania małych ilości ścieków*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCXCIV, Seria Melioracje i inżynieria środowiska, 19, cz. II, Poznań 1997, s. 281–288.
- Krzanowski S., Miernik W. *Unieszkodliwianie małych ilości ścieków metodami niekonwencjonalnymi na obszarach wiejskich*. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., z. 475, Warszawa 2001, s. 139–146.
- Krzanowski S., Wałęga A. *Ocena niezawodności działania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków dla miasta Dąbrowa Tarnowska*. Zesz. Nauk. ATH, Seria Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska 14 (5), 2004, s. 97–104.
- Kuczewski K., Kerel J. *Skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni roślinno-glebowej w półroczu zimowym*. Gospodarka Wodna nr 9, 1997.
- Kuzak A. *Ocena nowych rozwiązań w zakresie technik indywidualnego oczyszczania ścieków*. Maszynopis, 2004.
- Miernik W. *Eliminacja związków biogenych ze ścieków w złożu roślinno-gruntowym typu VSB*. Inżynieria Rolnicza 3, 2003, s. 67–75.

- Obarska-Pempkowiak H. *Oczyszczalnie hydrofitowe*. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.
- Obarska-Pempkowiak H., Kowalik P., Gajewska M., Muszyńska A. *Oczyszczalnie hydrofitowe: doświadczenia i perspektywy rozwoju*. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, z. 16, Białystok 2003, s. 192–202.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M. *Czy oczyszczalnie hydrofitowe sprawdzają się w Polsce?* Mat. Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Kanalizacja wsi – stan obecny, perspektywy rozwoju”, Poznań-Puszczykowo 2004.
- Rak J, Wieczysty A. *Funkcjonowanie systemu oczyszczalnia ścieków-odbiornik ścieków w świetle teorii niezawodności*. Mat. IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Rajgród 1997, s. 16–24.
- Rauba K. *Rozwiązywanie problemów gospodarki ściekowej w wiejskich obszarach turystycznych*. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, z. 16, Białystok 2003, s. 138–142.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 roku w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz niebezpiecznych sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. nr 168, poz. 1763).
- Siemieniec A., Krzanowski S. *Rozwiązania techniczne i ich uwarunkowania stosowane w naturalnych metodach biologicznego oczyszczania ścieków z zabudowań indywidualnych*. Zesz. Nauk. ATH, Seria Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska 1 (1), 2000, s. 149–160.
- Sikorski M. *Gospodarka ściekami bytowymi na wsi jako czynnik ochrony środowiska*, MUZ Falenty 1998.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Krzanowski
mgr inż. Andrzej Wałęga
Akademia Rolnicza w Krakowie
Zakład Gospodarki Wodnej i Ochrony Wód
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, pokój 431a
tel.: (012) 662 40 29, e-mail: rmkrzano@cyf-kr.edu.pl

Dr inż. Andrzej Jucherski
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
Górskie Centrum Badań i Wdrożeń w Tyliczu
Kierownik Centrum
Adres: ul. Pułaskiego 25a, 33-383 Tylicz
tel.: (018) 471 13 13
e-mail: ibmerkrynica@pro.onet.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Krzysztof Wierzbicki*

Stanisław Krzanowski, Andrzej Jucherski, Andrzej Wałęga

**INFLUENCE OF SEASON ON TECHNOLOGICAL
OF RELIABILITY OF MULTI-DEGREES PLANT-GROUND
ADJACENT OF SEWAGE TREATMENT**

SUMMARY

Rural areas in view of specific building still does has inadequate degree solve of sewage management. Great intervals between buildings and often bad conditions to build a sewage system are cause to popularized nonconventional methods of sewage treatment in this areas. This technologi should be high effective, reliability and chip. These solutions permit faster achieve desirable, good to environmental ecological effects than a sewage system and local sewage treatment. The most popular in our country are constructed wetland. This constructed characterize a high effective of reduction concentrate of organic pollutions, suspended and biogenic compound, and accumulate and mineralize secondary sludge on account of biological treatment process.

Temperature of sewage and process treatment in bed is a main factor, which significant influence on reduction pollutants in seminatural technology of sewage treatment. In scientific literature is fault results on-site researchs of influence a winter condition on kinetic changes organic and biogenic pollutants and effectiveness reduction in this constructed. The aim of work is evaluation of influence off season vegetative on effectiveness reduction of concentrations organic and biogenic pollutants and total suspended in adjacent of sewage treatment use of reliability theory.

Influence of season on reduction analyzed pollutants was defined by use a statistical methods - test t-Student for small numbers of date (<30) at $p < 0,05$ level of significant and elements of reliability theory.

Analises did not showed statistical significant different between seasons for organic pollutants, total suspended and phosphate at values 0,05 level of significant. Statistical significant difference was in outflow in vertical bed for total nitrate because process of change nitrate (nitrification and denitrification) is depending of temperature sewage in bed. Low temperature cause less speed and intensity of biochemical processes. The major reliability was in vertical bed in off season vegetative against vegetative season for organic and biogenic pollutants. The reliability testing carry out >99,9% for total suspended for all year. In vertical bed was highly effectiveness reduction an organic compounds and total suspended. Reliability testing was higher off season vegetative exception total suspended, where the value carry out 94,4% for vegetative season and 89,55% for off season vegetative.

Key works: plant-ground sewage treatment, technological reliability