

WYKORZYSTANIE ŚCIEKÓW W ROLNICTWE

Jan Kutera

IMUZ Oddział we Wrocławiu

W uprzemysłowionym i zurbanizowanym świecie stale wzrasta zanieczyszczenie powietrza, gleby, a przede wszystkim wody. Również w naszym kraju, pomimo niemałych wysiłków, nie udało się jak dotychczas zahamować wzrastającego zanieczyszczenia wód (tab. 1). Zmniejsza się także zasięg wód pierwszej klasy czystości, a wzrasta powierzchnia wód zanieczyszczonych ponad obowiązującą normę. Stan ten wynika głównie ze wzrostu ilości ścieków i mało skutecznego ich oczyszczania.

W każdej z ostatnich czterech pięcioletek roczny przyrost ścieków wynosił około 2 mld m³ (tab. 2). Zmniejszenie tempa przyrostu ścieków oczekuje się dopiero w przyszłości, poprzez wprowadzenie bardziej czystych technologii, suchych procesów przetwórczych i zamykanie obiegów wodnych.

Z pracujących prawie 1500 oczyszczalni ścieków, zaledwie 23% należycie spełnia swoje zadanie, oczyszczając niespełna 20% ogólnej ilości doprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Średnia redukcja BZT₅ oczyszczalni krajowych wynosi 59% [1B].

Określenie efektu oczyszczania ścieków redukcją ładunku BZT₅ jest dzisiaj niewystarczające. Niezbędne jest wprowadzenie kryterium ograniczającego obciążenia odbiornika wodnego związkami biogennymi - azotem i fosforem. Konieczny jest więc trzeci stopień oczyszczania ścieków, eliminujący przynajmniej jeden z tych biogennych nawozów, głównie jednak fosfor, który jest łatwiejszy do usunięcia. W zależności od sposobu i stopnia oczyszczania redukcja fosforu może wynosić: przez oczyszczanie mechaniczne - 17-24%, mechaniczno-chemiczne - 32-45%, i mechaniczno-biologiczne - 39-41% [3]. Szczególnie atrakcyjną metodą usuwania związków biogennych jest więc oczyszczanie ścieków w środowisku glebowym na polach nawadnianych, intensywnie użytkowanych rolniczo. Wyeliminowane związki azotu i fosforu pochodzące z prostego obiegu gospodarczego wody, są włączone do obiegu biologicznego, tworząc ostatecznie masę roślin.

T a b e l a 1

Charakterystyka stanu czystości wód głównych rzek Polski
(wg danych statystycznych GUS)

Klasa czystości	Rok					
	1970		1973		1977	
	km	%	km	%	km	%
I	3111,0	24,9	2995,8	23,6	1716,0	9,7
II	4026,0	32,2	4293,3	33,8	5605,9	31,6
III	2440,4	19,5	2315,9	18,2	4964,5	27,9
Nie odpowiadające normom	2928,3	23,4	3099,0	24,4	5477,3	30,8
Razem badanych rzek	12506,2	100,0	12704,0	100,0	17763,7	100,0

T a b e l a 2

Ilość ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych w Polsce
(wg danych statystycznych GUS)

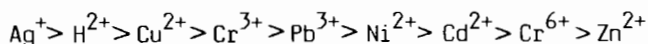
Ilość ścieków w mln m ³	Rok				
	1960	1965	1970	1975	1980
Ogółem	3918,4	6212,5	8494,8	10533,9	12010,5
- w tym wody chłodnicze	1176,4	3367,4	4792,0	6255,9	7329,2
Ścieki wymagające oczyszczenia	2742,0	2844,9	3702,8	4278,0	4681,3
- w tym oczyszczane mechanicznie	1687,6	1582,1	2003,2	2261,5	2703,6
biologicznie	1387,9	1230,9	1495,3	1498,1	1775,8
chemicznie	175,8	209,7	300,2	484,7	712,3
- nie oczyszczane	123,9	141,5	207,7	278,7	215,5
	1054,4	1262,8	1699,6	2016,5	1977,7

Dzięki tej metodzie w wielu krajach zwiększyło się zainteresowanie wykorzystaniem ścieków w rolnictwie. W naszym kraju uzasadniony jest również rozwój rolniczej utylizacji ścieków nie tylko ze względu na ochronę wód przed zanieczyszczeniem, ale również możliwość pozyskania najtańszej wody do nawodnień, bez importu nawozów do produkcji roślinnej.

W sytuacji przyrodniczo-gospodarczej Polski, zamiast drogiej wody czystej, niemożliwej do zastąpienia dla ludzi i zwierząt oraz w wielu gałęziach przemysłu, do nawodnień użytków rolnych powinny być wykorzystywane przede wszystkim wody ściekowe. Rolnicze wykorzystanie ścieków powinno stanowić znaczące ogniwo w obiegu gospodarczym wody.

Bezpośrednio wymierną dla rolnictwa jest wartość nawozowa ścieków. Ocenia się, że w 1980 r. odprowadzono ze ściekami, głównie do wód otwartych, około 1,3 mln ton nawozów.

Dotychczas brakuje jednoznacznie sprecyzowanych warunków, w postaci odpowiednich norm, jakim powinny odpowiadać ścieki, aby można je było wykorzystać w rolnictwie. Najogólniej można określić, że im ścieki zawierają więcej związków organicznych i pokarmowych, a mniej pierwiastków i związków w stężeniach szkodliwych dla gleby i roślin oraz mniej budzą zastrzeżeń sanitarnych, tym ich przydatność jest większa. Ścieki bytowo-gospodarcze i miejskie wody ściekowe ze stosunkowo niewielką domieszką wód przemysłowych oraz wody ściekowe przemysłu spożywczego nie zawierają w zasadzie pierwiastków i związków w stężeniach szkodliwych dla gleby i uprawianych roślin. Przed nadmierną koncentracją toksycznych związków chemicznych pochodzenia przemysłowego w wielu wypadkach chronią przepisy, regulujące dopuszczalny skład przemysłowych wód ściekowych, odprowadzonych do kanalizacji miejskiej. Jednak zbyt ostrożne normy koncentracji metali ciężkich w wodach do nawodnień wydają się nieuzasadnione tym bardziej, że nie są zróżnicowane zgodnie z jonowym szeregiem toksyczności, w którym :



Wskaźniki krytycznych stężeń pierwiastków i związków chemicznych w zasadzie odnoszą się do toksycznego ich działania na rośliny nawadniane. W technice rolniczego wykorzystania ścieków istnieją możliwości stosowania również nawodnień pozawegetacyjnych i w tych wypadkach toksyczność ścieków powinna być raczej uzależniona od ich działania na glebę, która jest środowiskiem bardziej odpornym na toksyczne działanie pierwiastków śladowych [20].

Przy ocenie przydatności ścieków przemysłowych i ich mieszanin do nawodnień, należy również wziąć pod uwagę stosunek obciążeń organicznych do wartości nawozowej. Według Kramera [7] istnieje wyraźna korelacja pomiędzy stosunkiem BZT₅ do N w wodach ściekowych a wielkością przyrostu plonów roślinności łąkowej pod wpływem nawodnienia. Wraz ze zwiększeniem się ilorazu BZT₅ i N w ściekach lub ich mieszaninie zmniejsza się efekt nawodnienia roślin.

Z powyższych zależności wynika, że najmniejszą wartość użytkową w rolnictwie mają wody ściekowe o dużym wskaźniku BZT₅, przy małych zawartościach związków nawozowych - przede wszystkim azotu. Konieczne jest więc wówczas zmniejszanie BZT₅, poprzez sztuczne biologiczne oczyszczanie lub pożywkowanie azotem ścieków czy nawadnianie nimi gleby. Lepsze niewątpliwie jest wzbogacenie ścieków azotem bezpośrednio lub przez glebę, gdyż jest to rozwiązanie tańsze, a poza tym azot w ściekach zawsze pozostaje decydującym składnikiem przy ocenie ich wartości użytkowej w rolnictwie.

Oceniając przydatność wód ściekowych do nawodnień na podstawie wskaźników zasolenia i koncentracji związków chemicznych, należy również brać pod uwagę możliwość uzdatniania ścieków. Proponuje się na przykład podział ścieków przemysłowych, na podstawie ich wykorzystania w rolnictwie, na pięć następujących grup:

- przydatne do nawodnień bez przygotowania; odpowiadające co najmniej III klasie czystości wód,

- przydatne do nawodnień po wstępnym mechanicznym oczyszczaniu; o dużej ilości zawieszin łatwo opadających, zanieczyszczeń organicznych pochodzenia naturalnego (BZT_5 do 3000 mg/dm^3), o zawartości soli do 3000 mg/dm^3 i pH wynoszącym 5,5-9,0,

- przydatne do nawodnień po wstępnym mechanicznym i fizykochemicznym oczyszczeniu; zawierające związki organiczne sztucznego pochodzenia (BZT_5 powyżej 3000 mg/dm^3) i znaczną ilość metali ciężkich, pH poniżej 5,5 lub powyżej 9,0,

- przydatne do nawodnień po rozcieńczeniu; zawierające nadmierne ilości substancji organicznej (BZT_5 powyżej 3000 mg/dm^3) oraz soli powyżej 3000 mg/dm^3 , nadmiernie kwaśne lub zbyt zasadowe oraz zawierające zbyt duże ilości niektórych składników nawozowych,

- przydatne do nawodnień po biologicznym oczyszczeniu; budzące szczególne zastrzeżenia sanitarne i niekiedy budzące zastrzeżenia sanitarne ze względu na obciążenia biologiczne i zapachy.

Według wstępnej oceny z ogólnej liczby około 1500 oczyszczalni o przepustowości powyżej $100 \text{ m}^3/\text{dobę}$, 730 obiektów oczyszcza rocznie około 1,5 mld m^3 ścieków, o stwierdzonej przydatności i możliwości rolniczego wykorzystania. Z 260 obiektów oczyszczania ścieków, które wykorzystuje się w rolnictwie, prawie połowa to obiekty stare, przeciążone, dające gorsze wyniki, a reszta to oczyszczalnie nowe, które osiągają najwyższe wskaźniki redukcji zanieczyszczeń. Pomijając pola filtracyjne i bardzo wysoko obciążone pole irygowane, aktualnie wykorzystuje się w rolnictwie zaledwie kilka procent przydatnych i odpowiednio przygotowanych do tego celu ścieków miejskich i przemysłowych. Przy tym prawie w ogóle nie są używane do nawodnień ścieki po biologicznym, sztucznym oczyszczaniu.

W zależności od potrzeb i możliwości terenowych, ścieki mogą być wykorzystywane w ciągu całego roku, względnie tylko w okresie wegetacyjnym. W rozwiązaniach dotyczących ścieków przemysłu spożywczego i rolnego oraz bytowo-gospodarczych z osiedli i mniejszych miast, powinny być preferowane technologie całorocznego wykorzystania wód ściekowych. Badania i opracowane wzory dają podstawy produkcyjnego użytkowania potencjału nawozowego tych ścieków również w okresie zimy. Możliwości wyboru technologii oczyszczania i użytkowania ścieków dają dysponowane w praktyce systemy nawodnień i zestawy urządzeń deszczownianych o różnym stopniu zmechanizowania i zautomatyzowania.

Okres użytkowania	Ścieki oczyszczone mechanicznie	Ścieki oczyszczone biologicznie
III-IX	deszczownie powstałe, przemieszczane mechanicznie	deszczownie samojezdne
X-XI	deszczowanie stałe	deszczownie stałe, pola filtracyjne z topolami, filtry glebowe, zbiorniki ściekowe
XII-II	pola filtracyjne z topolami, filtry glebowe, zbiorniki ściekowe	pola nawadniane grawitacyjne, deszczownie stałe, pola irygowane, pola filtracyjne z topolami, filtry glebowe, stawy, zbiorniki

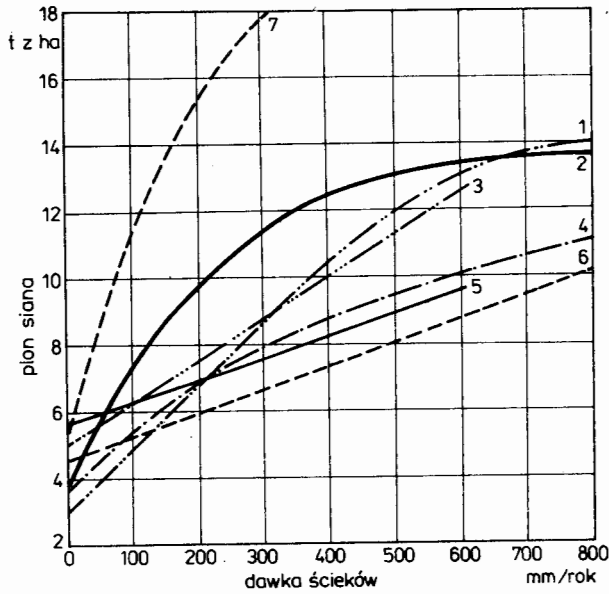
Wraz z rozwojem nawodnień deszczownianych powinny rozwijać się technologie użytkowania ścieków do nawodnień wegetacyjnych. Wprowadzone ostatnio na nasze pola agregaty deszczujące wymagają bardziej precyzyjnego przygotowania ścieków. Konieczność oszczędnego rozprowadzania ścieków oraz nowoczesne techniki deszczowania będą wymagały coraz powszechniejszego stosowania oczyszczania biologicznego ścieków bytowo-gospodarczych przed wprowadzeniem ich na pola nawadniane.

Do nawodnień wodami ściekowymi w pierwszym rzędzie powinny być przeznaczane gleby lekkie, niedostatecznie uwilgotnione, potencjalnie mało urodzajne. Gleby te bowiem najlepiej nadają się do całorocznego nawodnienia ściekami, dobrze znoszą wahania stężeń, pozwalają w razie potrzeby na zwiększenie dawki, odznaczają się mniejszą wrażliwością na biologiczne, fizyczne i chemiczne zmęczenie wskutek nawodnienia ściekami oraz dają wysokie dochody gospodarcze z każdego m³ wykorzystanych ścieków. Znalezienie tego rodzaju gleb w naszym kraju nie nastęrcza trudności.

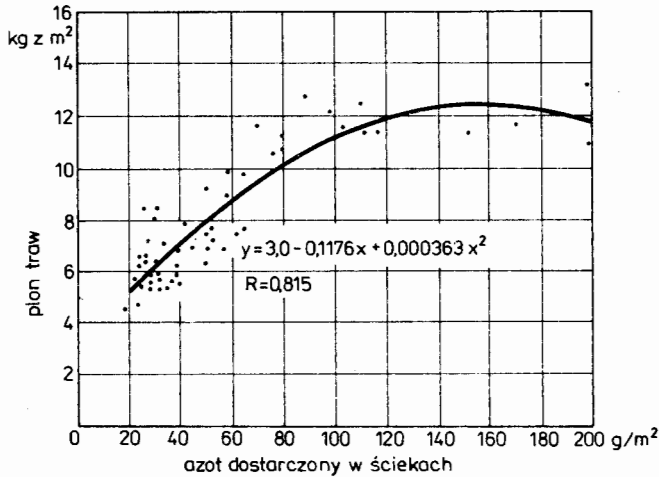
Wartość związków organicznych zawartych w ściekach będzie coraz bardziej doceniana w miarę narastania nieuniknionego deficytu nawożenia obornikiem, szczególnie na glebach lekkich. W naszych warunkach nawożenie organiczne powinno pozostać węglowym ogniwem kompleksowego, nowoczesnego systemu uprawy roli.

Wieloletnie cykle badań Zakładu Rolniczego Wykorzystania Ścieków IMUZ we Wrocławiu nad różnymi ściekami, wykazały bezsporne pierwszeństwo roślin pastewnych, a szczególnie użytków zielonych, do nawodnienia wodami ściekowymi. W zależności od rodzaju ścieków (a właściwie od ich zasobności w składniki nawozowe) oraz dawki nawadniającej, bez nawożenia mineralnego można uzyskać corocznie wyrównane plony dobrego siana w ilości 10,0-14,0 t z ha (rys. 1). Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że jedynie nawodnienie wodami ściekowymi umożliwia produkcję pasz z traw łąkowych nawet na suchych piaskach luźnych.

Ilość i jakość plonu łąk nawadnianych wodami ściekowymi limitowana jest głównie ilością wprowadzonego azotu w dawce sezonowej ścieków. Wraz ze wzrostem ilo-



Rys. 1. Plonowanie łąk dzięki nawodnieniom ściekami: 1 - miejskimi, 2 - przemysłu ziemniaczanego, 3 - mleczarni, 4 - roszarni, 5 - cukrowni, 6 - browarów, 7 - drożdżowni



Rys. 2. Plonowanie traw w zależności od azotu dostarczonego w ściekach przemysłu spożywczego

ści azotu dostarczonego ze ściekami, pozyskuje się większą ilość plonu traw oraz zawartego w nim białka (rys. 2). Ponieważ większość ścieków wyróżnia się dużą zasobnością w azot, a więc tereny nawadniane ściekami powinny dostarczać wysokobiałkowej paszy, bogatej również w związki mineralne. Zwykle wraz ze wzro-

stem dawki ścieków rośnie w suchej masie udział azotu, potasu i sodu. Zawartość fosforu w sianie jest wystarczająco duża i nie ulega większym wahaniom w zależności od poziomu nawodnienia ściekami. Zawartość makro- i mikrośladników w roślinności trawiastej nawadnianej ściekami miejskimi jest w zasadzie wystarczająco duża, aby można zakwalifikować produkowaną tam paszę do pierwszorzędnej jakości. W przypadku nawodnienia ściekami przemysłowymi może wystąpić niedobór, względnie nadmiar niektórych makro- i mikrośladników w paszy, co należy brać pod uwagę przy programowaniu uzupełniającego nawożenia i przy ustalaniu zestawu pasz dla zwierząt.

Znane dotychczas systemy nawodnień zdają na ogół egzamin na użytkach zielonych, szczególnie na łąkach, natomiast na terenach, na których uprawia się rośliny, mają one ograniczone zastosowanie.

W produkcji pastwiskowej bardziej istotnym niż suma plonu wegetacyjnego jest rozkład paszy w turnusach wypasowych. W latach 1961-1972 kilka cykli doświadczeń

T a b e l a 3

Produkcyjność pastwiska deszczowanego miejskimi wodami ściekowymi w okresie 10 lat na Stacji Doświadczalnej IMUZ w Kamieńcu Wrocławskim

Wskaźniki	Zakres wyników		
	od	do	średnio
Plon zielonej masy, t z ha w roku	49,1	71,9	61,3
Średni plon w turnusach wypasowych, t z ha	10,0	12,4	-
Plon jednostek owsianych z 1 ha	7166	10450	8328
Dni wypasu w sezonie	153	178	163
Obsada młodego bydła, szt/ha			
- początkowa	3,0	4,3	3,4
- w końcu sezonu wypasowego	4,7	6,3	5,4
Przyrost ciężaru młodych zwierząt w sezonie wypasowym, kg/ha	638	1093	961

w Kamieńcu Wrocławskim wykazało możliwość złagodzenia uciążliwej depresji letniej w odroście runi pastwiskowej, nawet na lekkich glebach (tab. 3). W poszczególnych sześciu turnusach wypasowych średnie plony zielonej masy pastwiska deszczowanego ściekami wynosiły powyżej 10,0 t z ha. Podczas sezonu wypasowego można z jednego hektara pastwiska uzyskać około 1000 kg przyrostu żywej wagi młodego bydła.

Badania Stacji Doświadczalnej Rolniczego Wykorzystania Ścieków dowiodły wydajnej intensyfikacji produkcji piaszczystych gruntów orných dzięki całorocznym nawodnieniom ściekami. Nawodnienie żyznymi ściekami umożliwia podwyższenie o dwie, a nawet trzy klasy najsłabszych kompleksów glebowo-rolniczych. Tam,

gdzie, można pozyskać do nawodnień ścieki o dużym ładunku obciążeń organicznych i zasobne w związki nawozowe, nie wydaje się gospodarczo uzasadnionym zalesienie suchych piaszczystych gleb VI klasy.

Techniczne możliwości całorocznego wykorzystania ścieków daje powiązanie systemu nawodnienia deszczownianego z zalewowym, względnie deszczownia stała. Gwarancję bezrzutowego odbioru ścieków dają powierzchnie rezerwowe i awaryjne w postaci

T a b e l a 4

Wydażność masy drewna topoli (*Populus gallica*) w zależności od nawodnienia ściekami miasta Wrocławia

Roczna dawka ścieków, mm	Grubizna drewna netto, m ³ /ha					
	po 7 latach		po 14 latach		po 20 latach	
	ogółem	przyrost roczny	ogółem	przyrost roczny	ogółem	przyrost roczny
0	20	2,9	86	6,1	147	7,2
500	108	15,5	249	17,8	454	22,7
1000	140	20,0	287	20,5	497	24,8
2000	143	20,4	306	21,8	495	24,8

wysoce obciążonych pól nawadnianych, irygowanych i filtracyjnych. Pola awaryjnego czy rezerwowego odbioru ścieków mogą i powinny być również użytkowane rolniczo, względnie przeznaczone pod plantacje topoli. Badania Draguna [6] wykazały, że w warunkach pól rezerwowego odbioru ścieków (intensywnie nawadnianych), można uzyskać w okresie 7 lat drewno topolowe pierwszej klasy do wyrobu celulozy, w ilości 140 m³ z 1 ha (tab. 4). Przy 14-letnim okresie rębności pozyskuje się wyższe standardy użytkowe drewna topoli nawadnianej, między innymi materiały sklejkowe i tartaczane, co powoduje, że nawadnianie topoli wodami ściekowymi jest co najmniej tak opłacalne, jak nawadnianie użytków zielonych.

Krajowe badania przeprowadzone w ciągu ostatnich lat dały podstawy szerszego niż dotychczas rolniczego wykorzystania ścieków przemysłowych, szczególnie pochodzących z przemysłów spożywczych i rolnych, zwłaszcza ścieki z cukrowni, mleczarni, krochmalni, browarów, drożdżowni i przetwórci owocowo-warzywnych.

W ostatnich latach forsowano koncepcję oczyszczania ścieków pochodzących z cukrowni w zbiornikach akumulacyjnych. Ze względu na brak dogodnych warunków do budowy tego rodzaju zbiorników, rozwiązanie takie należy uznać za nieuzasadnione gospodarczo. Nie można bowiem wyłączyć trwale z produkcji rolnej dużych obszarów dobrych gleb pod tego rodzaju urządzenia, bez możliwości uzyskania pełnych efektów oczyszczania ścieków. Doświadczenia Brandyka [2] wykazały pełną możliwość bezpośredniego odbioru ścieków w czasie kampanii na polach nawadnianych. Stosując na

glebach nawet zwięźlejszych dawki po 6000 m³/ha ścieków uzyskano zwiększenie plonów siana o około 40%. Ponieważ ścieki cukrowni z dyfuzją ciąglą są mało zasobne w związki nawozowe i nie są zbyt atrakcyjne dla rolnictwa w okresie pozawegetacyjnym bezpośrednio ich wykorzystanie do nawodnień należy traktować przede wszystkim jako skuteczną oczyszczalnię. Tam, gdzie wybudowano już zbiorniki, zakumulowane ścieki powinny być wykorzystane do nawodnień zwilżająco-nawożących podczas wegetacji. Takie rozwiązanie wdrażane jest m. in. przez IMUZ w Cukrowni Ropczyce.

Wyniki wieloletnich badań IMUZ dały podstawy do przyjęcia rolniczej utylizacji jako jedynie uzasadnionego sposobu oczyszczania ścieków w polskim przemyśle ziemniaczanym [11, 15]. Na 19 zakładów kluczowego przemysłu ziemniaczanego w Polsce, 14 oczyszcza swoje ścieki w środowisku glebowym, z różnym stopniem wykorzystania potencjału nawozowego tych wód w produkcji roślinnej. Aktualnie przystępuje się do badań nad unowocześnieniem technologii rolniczego wykorzystania ścieków przemysłu ziemniaczanego, modernizacji starych obiektów oraz projektów nowych rozwiązań gospodarki ściekowej z nawodnieniami użytków rolnych dla powstałych zakładów tego przemysłu.

W wielu doświadczeniach [8, 16, 21] udowodniono pełną możliwość oczyszczania i efektywnego rolniczego zużytkowania ścieków z młeczarni, browarów i roszarń. W oparciu o obszerny wieloletni cykl badań Zakład Rolniczego Wykorzystania Ścieków IMUZ wdrożył i upowszechnił w kilku zakładach produkcyjnych technologie rolniczego wykorzystania ścieków spirytusowo-drożdżowych [18]. Ogólnie można stwierdzić, że im ścieki przemysłowe zawierają więcej związków pokarmowych i są trudniejsze do oczyszczenia w środowisku wodnym oczyszczalni sztucznej, tym są one przydatniejsze do rolniczego wykorzystania.

Wstępne badania przeprowadzone ze ściekami Zakładów Azotowych w Tarnowie, zapowiadają również możliwości zastosowania rolniczej utylizacji do oczyszczania szczególnie uciążliwych ścieków przemysłu azotowego [17]. Stwierdzono między innymi, że im więcej azotu zawierały ścieki z poszczególnych działów zakładu, tym efekt ich działania na plon traw nawadnianych był wyższy i produkcja białka roślinnego większa.

Badania Czyżyka [4] potwierdziły małą zasobność w związki nawozowe ścieków celulozowo-papierniczych, ale równocześnie wynikła pełna możliwość zużytkowania dużych zasobów tych wód do nawodnień zwilżających, pod warunkiem nawożenia gleby nawozami mineralnymi.

Wydaje się, że aktualne badania będą mogły rozszerzyć asortyment ścieków przemysłowych przydatnych do rolniczego wykorzystania bezpośrednio, czy też po uprzednim częściowym uzdatnianiu, względnie zmieszaniu ze ściekami miejskimi.

Możliwości oczyszczania biologicznego i eliminacji związków biogenych różnych ścieków w środowisku pól nawadnianych zostały potwierdzone wieloletnimi i licznymi krajowymi badaniami lizymetrycznymi i polowymi [5, 8, 19] (tab. 5).

Redukcja ładunków podstawowych obciążen ściekowych na polach nawadnianych

Ścieki	Dawka ścieków, mm		Redukcja ładunku, %				P ₂ O ₅
	roczna	jednorozowa	BZT ₅	N-całkowitego	N-organicznego	N-amonowego	
Miejskie	600	50	99,5	96,6	100,0	100	99,1
Krochmalnicze	200	50	99,7	86,3	100,0	98,0	98,6
	300	150	98,3	83,6	99,7	99,2	94,5
Cukrownicze + NPK	300	50	99,0	84,0	100,0	99,5	95,8
	450	150	91,4	83,5	99,0	99,0	95,7
Browarnicze	400	50	99,8	86,0	100,0	98,5	95,5
	600	150	97,6	83,6	99,1	97,7	96,5
Mleczarniane	400	50	99,3	91,1	99,9	99,4	99,8
	600	150	94,0	87,2	96,6	98,5	98,9
Drożdżownicze rozcieńczone 1:2	400	50	99,6	90,5	99,5	99,6	98,2
	600	150	95,4	83,4	99,4	99,5	95,2
Lniarskie	1350	40	98,7	98,6	-	-	99,2
Celulozowo-papiernicze	500	50	97,4	-	-	-	-
Średnio	-	50	99,2	90,6	99,9	99,2	98,1
	-	150	95,7	84,3	99,4	98,8	96,1

W warunkach lekkich gleb mineralnych, przy wykorzystaniu różnych ścieków (w okresie wegetacji) na trwałych użytkach zielonych systemem deszczownianym, dawkami polewowymi około 50 mm, uzyskuje się redukcję ładunku BZT₅ od 97,4 do 99,8% (średnio ponad 99,2%), a przy zwiększonych dawkach polewowych do 150 mm - 91,4-98,3 (średnio 95,7%). Są to wartości znajdujące się znacznie powyżej klasycznych krzywych Imheffa czy Rumpfa, określających teoretyczne możliwości oczyszczalni sztucznych mechaniczno-biologicznych. Właściwe nawodnienie umożliwia również uzyskanie wysoko sprawnego trzeciego stopnia oczyszczania ścieków. Przy zastosowaniu dawek polewowych optymalnych dla techniki deszczowania, eliminuje się w środowisku glebowym w zależności od obciążeń ścieków - 84 do 98% (średnio prawie 91%) ładunku azotu całkowitego, 100% organicznego i ponad 99% amonowego. W tych samych warunkach nawadniania usuwane jest ze ścieków w środowisku glebowym ponad 98% P₂O₅.

Sprawność oczyszczalni rolniczej ścieków jest również wysoka podczas okresu zimowego. Świadczą o tym wskaźniki z 4-letniej systematycznej kontroli odpływu ścieków z obciążonych pól irygowanych m. Wrocławia (tab. 6).

T a b e l a 6

Średnie wskaźniki oczyszczenia biologicznego ścieków na polach irygowanych m. Wrocławia w poszczególnych okresach roku

Okres	Ścieki		Odpływ z pól		Redukcja, %	
	BZT ₅ ,	Utlenial- ność, mg/dm ³	BZT ₅ , mg/dm ³	Utlenial- ność, mg/dm ³	BZT ₅	Utlenial- ność
III-V	340	134	21	18	94	87
VI-VIII	280	129	17	15	94	88
IX-XI	342	103	13	16	96	85
XII-II	306	123	20	18	93	84
Średnio	317	119	18	17	94	86

Z zasady do nawodnień ściekami poleca się gleby lekkie, z których nadmiary związków mineralnych są wypłukiwane do głębszych warstw profilu glebowego, przy czym z biogenych związków wypłukiwany jest azot azotanowy. W naszym klimacie przemywanie gleb powoduje, że nawet przeciążone ściekami gleby nie wykazują objawów zasolenia. Zasięg zasolenia płytkich wód gruntowych w płaszczyźnie poziomej, poza obrębem pól nawadnianych wynosi kilkanaście do kilkuset metrów. Ograniczaniu zasolenia płytkich wód gruntowych poza obrębem pól, bardzo wyraźnie sprzyjają rowy i drenaże opaskowe. Na polach nawadnianych ściekami m. Wrocławia w kompleksie Dobrzykowice-Kamieniec, zasolenie wód gruntowych w piezometrach za rowami nie przekraczało norm przyjętych dla wody wodociągowej.

T a b e l a 7

Możliwość i prognozy rolniczego wykorzystania ścieków w Polsce

Makroregiony	Zasoby przydatnych ścieków			Plan wykorzystania ścieków			
	liczba obiektów	ilość ścieków, m ³ /rok	liczba obiektów	ilość ścieków, m ³ /rok	liczba obiektów	ilość ścieków, m ³ /rok	powierzchnia nawadniana, ha
Północny	83	171315	55	102789		34294	
Północno-wschodni	73	88074	35	42275		14092	
Południowo-zachodni	141	326785	90	169928		56643	
Środkowozachodni	76	200969	60	158763		52922	
Środkowy	64	214620	50	167403		55801	
Środkowowschodni	59	92341	35	54481		18160	
Południowy	166	474216	55	137623		45641	
Południowo-wschodni	66	204254	40	124596		41531	
Razem	728	1774771	420	937858		313685	

Wody wgłębne z obiektu intensywnie nawadnianego ściekami w Osobowicach k. Wrocławia, ujmowane za pomocą wierceń głębinowych, nie wykazały w czasie pompowania próbnego przekroczenia wskaźników jakościowych, ustalonych dla wód wodociągowych, z wyjątkiem siarczanów i żelaza [1]. Badania nad zmianami ilościowo-jakościowymi wód wgłębnych na terenach nawadnianych ściekami potwierdziły realność stosowanych w świecie prób odnawiania zasobów wód gruntowych intensywnie eksploatowanych, poprzez nawadnianie wodami ściekowymi.

W ramach studiów nad przygotowaniem podstaw perspektywicznego planu rolniczego wykorzystania ścieków, zebrano dane o dyspozycyjnych zasobach ścieków oraz zawartych ładunkach BZT₅, azotu ogólnego i fosforu. Z danych tych wynika, że z 1429 oczyszczalni o przepustowości 7073 tys. m³/dobę, 728 obiektów o przepustowości 4863 tys. m³/dobę ścieków nadaje się do bezpośredniego wykorzystania w rolnictwie. Biorąc pod uwagę właściwości glebowe i potrzeby nawodnień oraz warunki meteorologiczne i gospodarczo-terenowe poszczególnych makroregionów, przewiduje się rolnicze wykorzystanie ścieków z 420 obiektów na obszarze około 313,3 tys. ha (tab. 7).

Plan perspektywiczny rolniczego wykorzystania ścieków zostanie uściślony po opracowaniu wojewódzkich planów ochrony wód, a następnie szczegółowo rozpracowany na podstawie studiów terenowych, w ramach wojewódzkich programów. Szczegółowo wojewódzkie plany rolniczego wykorzystania ścieków powinny być przygotowane razem z planami zagospodarowania gnojowicy.

Realizację perspektywicznego planu rolniczego wykorzystania ścieków w Polsce zabezpiecza w dostatecznym stopniu zaplecze naukowo-badawcze i projektowe. Wiodącą placówką w badaniach nad rolniczym wykorzystaniem ścieków jest Oddział Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych we Wrocławiu. IMUZ był koordynatorem badań nad rolniczym wykorzystaniem ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych w rolnictwie, realizowanych w programie rządowym PR-7. W rozwiązywaniu problemu rolniczego wykorzystania ścieków współpracują z IMUZ w większym zakresie SGGW-AR w Warszawie, AR we Wrocławiu i AR w Krakowie. Trzydziestoletni dorobek naukowy tych placówek w zakresie rolniczego wykorzystania ścieków jest znaczny. Z kilkuset publikacji, ponad 300 to oryginalne prace naukowe, z których kilkadziesiąt zostało ogłoszonych za granicą. IMUZ realizuje swój program badawczy w ramach koordynacji RWPG oraz dwustronnej współpracy z ZSRR, WRL, NRD i CSRS.

Dla potrzeb praktyki przekazano „Instrukcję w zakresie rolniczego wykorzystania ścieków” oraz podręcznik wydany w 1978 r. przez Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne pt. „Wykorzystanie ścieków w rolnictwie” [13], który stanowi syntezę badań krajowych, podbudowaną przeglądem literatury światowej i aktualnie daje dostateczne podstawy do programowania, projektowania, wykonawstwa i eksploatacji terenów i urządzeń rolniczego wykorzystania ścieków w Polsce.

Opierając się na wieloletniej współpracy z Oddziałem IMUZ we Wrocławiu, wyspecjalizowały się w opracowaniach dokumentacji projektowych inwestycji rolniczego

wykorzystania ścieków Biura Projektów Wodnych Melioracji we Wrocławiu, Poznaniu i Opolu. Biuro Projektów Wodnych Melioracji we Wrocławiu zostało wyznaczone jako wiodące w kraju w projektowaniu rolniczego wykorzystania ścieków miejskich, natomiast Biuro Projektów Wodnych Melioracji w Poznaniu powierzono rolę wiodącą w projektowaniu rolniczego wykorzystania ścieków przemysłowych i gnojowicy.

Niniejsza praca nie obejmuje problemu rolniczego wykorzystania gnojowicy, która jako nawóz organiczno-mineralny powinna być w całości wykorzystana w rolnictwie w celu umożliwienia powrotu składników pokarmowych do obiegu przyrodniczego. Zakłócenie tego obiegu poprzez odprowadzanie gnojowicy do wód, z pominięciem gleby, może wywołać trudne do opanowania stosunki w środowisku przyrodniczym. Stan gospodarki gnojowicowej oraz możliwości i warunki jej utylizacji w rolnictwie zostały sprecyzowane w oddzielnej ekspertyzie [12].

LITERATURA

1. Boćko J. i in.: Zmiany ilościowe i jakościowe wód gruntowych na terenach nawadnianych ściekami. Sprawozdanie końcowe z badań IMUZ Wrocław, 1975.
2. Brandyk T.: Oczyszczanie i wykorzystanie rolnicze ścieków i osadów z cukrowni (rozprawa habilitacyjna). IMUZ, Falenty 1979.
3. Chojnacki A.: Usuwanie fosforu ze ścieków. Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony wód i gleby przed zanieczyszczeniem. Materiały z Sekcji Ochrony Czystości Wód Polskiego Komitetu Gospodarki Wodnej NOT. Warszawa 1975.
4. Czyżyk W.: Oczyszczanie ścieków celulozowo-papierniczych posiarczynowych za pomocą rolniczego wykorzystania na polach nawadnianych (rozprawa doktorska). IMUZ, Wrocław 1972.
5. Czyżyk W., Kutera J.: Oczyszczanie ścieków celulozowo-papierniczych posiarczynowych na polach nawadnianych. Wiad. IMUZ, 1977, 13.
6. Dragun W.: Nawadnianie plantacji topoli jako element całorocznego wykorzystania miejskich wód ściekowych (rozprawa doktorska). IMUZ, Wrocław 1973.
7. Kramer D.: Zur naturwiesenschaftlichen Bewertung der Möhrsteff gehalte von Abwaseern unter besonderer Berücksichtigung des Strickstoffs. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Tagungsbericht 1970, 106.
8. Kurhański M.: Wpływ wysokości jednorazowych i rocznych dawek wód ściekowych przemysłu lnianarskiego na skład chemiczny gleb i wód glebowych oraz planowanie użytków zielonych. Materiały seminarium naukowego na temat „Skład chemiczny gleb i wód glebowych w warunkach wykorzystania gnojowicy do celów nawozowych. PTG 1977.
9. Kutera J.: Całoroczne rolnicze wykorzystanie ścieków. Wiad. IMUZ, 1971, 35.
10. Kutera J.: Podstawy techniczno-ekonomiczne oczyszczania ścieków przemysłowych poprzez ich rolnicze wykorzystanie. Pr. Nauk. Instytutu Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Wrocławskiej 1972, 16.
11. Kutera J.: Oczyszczanie ścieków z krochmalni. Wiad. IMUZ, 1974, 11, 4.
12. Kutera J.: Fermy przemysłowe i gospodarka gnojowicą z punktu widzenia ochrony środowiska (ekspertyza). Komitet Naukowy „Człowiek i Środowisko” PAN 1979.
13. Kutera J.: Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. PWRiL, Warszawa 1978.
14. Kutera J.: Wykorzystanie w rolnictwie ścieków z drożdżowni. Zalecenia, IMUZ, Falenty 1981.
15. Kutera J., Czyżyk W.: Rolnicze wykorzystanie ścieków przemysłu ziemniaczanego, Wiad. IMUZ, 1968, 27.
16. Kutera J., Czyżyk W., Pyzikiewicz M.: Wykorzystanie i oczyszczanie ścieków browarniczych w rolnictwie. Wiad. IMUZ, 1978, 13, 2.

17. Kutera J., Majdowski F., Pruszyński C.: Wstępna ocena przydatności ścieków przemysłu azotowego do wykorzystania rolniczego. *Gosp. Wod.*, 1972, 6.
18. Łanowy T. i in.: Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Polsce. Instytut Kształtowania Środowiska Oddział we Wrocławiu 1977.
19. Majdowski F.: Oczyszczanie ścieków przemysłu spożywczego w glebie (praca habilitacyjna). IMUZ, Falenty 1982.
20. Tölg S.: Zur Frage systematischer Fehler in Spurenanalyse der Elemente. *Vom Wasser*. Band 40, 1973.
21. Ząbek S.: Wyniki doświadczeń nad rolniczym wykorzystaniem ścieków w mleczarni (praca habilitacyjna). Wrocław 1972.