

ISSN 1425-7351



PL0200364

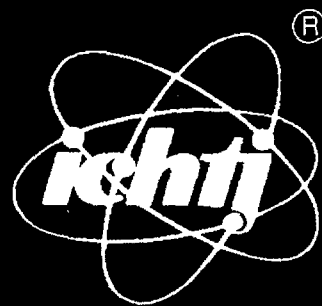
INCT--2/B/01

RAPORTY IChTJ. SERIA B nr 2/2001

**METODY MONITOROWANIA
I PROGNOZOWANIA ZMIAN JAKOŚCI
WÓD PODZIEMNYCH
NA OBSZARZE ODDZIAŁYWANIA
ZESPOŁU GÓRNICZO-ENERGETYCZNEGO
„BELCHATÓW”**

**Wojciech Sołtyk, Andrzej Owczarczyk,
Jolanta Walendziak**

.. 33 / 33



**INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
INSTITUTE OF NUCLEAR
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**



RAPORTY IChTJ. SERIA B nr 2/2001

**METODY MONITOROWANIA
I PROGNOZOWANIA ZMIAN JAKOŚCI
WÓD PODZIEMNYCH
NA OBSZARZE ODDZIAŁYWANIA
ZESPOŁU GÓRNICZO-ENERGETYCZNEGO
„BEŁCHATÓW”**

**Wojciech Sołtyk, Andrzej Owczarczyk,
Jolanta Walendziak**

WYDAWCA

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa

tel.: (0-22) 811 06 56; fax: (0-22) 811 15 32; e-mail: sekdyrn@orange.ichtj.waw.pl

Raport został wydany w postaci otrzymanej od Autorów

UKD: 621.039.85

INIS: S07, S58

**SŁOWA KLUCZOWE: WODY POWIERZCHNIOWE, WODY PODZIEMNE,
ANALIZA WODY, TRANSPORT ZANIECZYSZCZEŃ, TRYT,
SKŁAD IZOTOPOWY, SKŁADOWISKO OSADÓW**

Metody monitorowania i prognozowania zmian jakości wód podziemnych na obszarze oddziaływania zespołu górniczo-energetycznego „Bełchatów”

W pracy zacytowano regulacje polskiego prawa dotyczące monitoringu środowiska w zakresie wód podziemnych i powierzchniowych. Omówiono również podstawowe metody badania jakości wód stosowane w hydrogeologii i ochronie środowiska.

Wymienione metody zastosowano w badaniach nad wpływem oddziaływania odkrywki „Bełchatów” na jakość wody w rzekach zlewni górnej Warty, odbierających wody z systemu odwodnienia kopalni.

Wykonano badania podstawowych cech fizykochemicznych, mikroskładu chemicznego oraz koncentracji i składu izotopów środowiskowych wód powierzchniowych i podziemnych na obszarze potencjalnego oddziaływania Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Na podstawie badań wykazano, że zrzut wód z systemu odwodnienia kopalni do rzeki Widawki nie powoduje degradacji jej jakości – rzeka Widawka zachowuje I klasę czystości od przekroju Ruszczyn do ujścia do rzeki Warty.

Opracowano prognozę wzrostu „zasolenia” wód pompowanych przez barierę ochronną wysadu solnego Dębina dla rzędnej zwierciadła +50,0 m npm (stan na grudzień 2000 r.). Określono zasięg i wpływ „mokrego” składowiska popiołów na wody pompowane przez system głębokiego odwodnienia kopalni.

Monitoring methods and prediction of ground waters quality changes in the interaction region of Mine and Power Plant “Bełchatów”

The Polish law regulations regarding the environmental waters (surface and ground) monitoring have been cited in the report. Also basic analytical methods for water quality control, commonly used in hydrogeology and environment protection, have been described.

All the presented methods have been used for investigations of the influence of Lignite Strip Mine “Bełchatów” on river water quality in the upper Warta basin, which are the main receivers of waters from the strip drainage system.

The main physico-chemical features as well as micro and macro components and environmental isotope concentrations were measured in the surface and ground waters in the hypothetical strip interaction region. It has been found that the outfall of mine pumped waters to the Widawka river do not spoil water quality, which preserves the first class of purity in the course between Ruszczyn up to the Warta river.

The forecast of the salinity increase for ground waters pumped by the protection barrier of salt deposit Dębina have been worked out for water table altitude +50.0 m below the sea level (state in December 2000). The range of the wet ash deposit interaction on water quality pumped by the “Bełchatów” Mine drainage system have been determined and evaluated.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. PODSTAWOWE METODY MONITORINGU JAKOŚCI WÓD	7
2.1. Badanie składu chemicznego	7
2.2. Pomiary stosunków izotopów stabilnych	8
2.3. Pomiary izotopów promieniotwórczych na potrzeby monitoringu wód	10
3. CEL PRACY	13
4. WYNIKI I WNIOSKI	16
4.1. Monitoring wód odprowadzanych z systemu odwodnienia kopalni oraz wód zlewni rzeki Widawki od przekroju Ruszczyn do ujścia do rzeki Warty	16
4.2. Zmiany składu hydrochemicznego i cechy izotopowe wód podziemnych w rejonie wewnętrznego zwałowiska popiołów	23
4.3. Wpływ składowiska popiołów Bagno Lubień na jakość wód pompowanych przez studnie północnych barier odwodnienia wglębnego	25
4.4. Skład hydrochemiczny i cechy izotopowe wód pompowanych na zachodnim przedpolu odwodnienia wglębnego	28
4.5. Badania hydrochemiczne i izotopowe wód podziemnych w rejonie bariery ochronnej wysadu solnego Dębina	29
5. PODSUMOWANIE	31
LITERATURA	33

1. WSTĘP

Podstawowe źródło zaopatrzenia populacji globu w wodę pitną stanowią wody podziemne. Są one coraz intensywniej eksploatowane, co prowadzi lokalnie do znacznego deficytu tego niezbędnego do życia surowca. W rejonach przemysłowych, gdzie występuje zwiększone prawdopodobieństwo zanieczyszczenia wód, ich jakość jest systematycznie badana.

W wielu krajach zakres oraz sposób prowadzenia monitoringu wód podziemnych określa szereg przepisów prawnych, norm i zaleceń wydawanych przez powołane do tego organa administracji państwowej. W Polsce problematykę tę regulują trzy ustawy:

- ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31 stycznia 1980 roku [1],
- prawo wodne z dnia 24 października 1974 roku [2],
- prawo geologiczne i górnicze z dnia 4 lutego 1994 roku [3].

Na ich podstawie wydano szereg przepisów wykonawczych w formie rozporządzeń Rady Ministrów, Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (MOŚZNiL) oraz Ministra Zdrowia (MZ) [4-7], a także zaleceń i wytycznych Głównego Inspektora Ochrony Środowiska [8,9]. Są to:

- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 1993 roku w sprawie opłat za szczególne korzystanie z wód i urządzeń wodnych [4];
- rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi [5];
- rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł ujęć wody [6];
- zalecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych [8];
- rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 września 2000 roku w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organa Inspekcji Sanitarnej [9].

2. PODSTAWOWE METODY MONITORINGU JAKOŚCI WÓD

2.1. Badanie składu chemicznego

Badanie chemizmu wód, tj. zawartości mikro- i makroskładników występujących w wodzie w postaci rozpuszczonej, stanowi najbardziej klasyczną metodę badawczą. Pozwala ona na interpretację genezy, ocenę dynamiki i zasięgu zjawisk transportu zanieczyszczeń od istniejących lokalnie źródeł, np. składowisk odpadów, wysypisk itp.

Metody chemiczne są stosowane na szeroką skalę w monitoringu wód od wielu dziesięcioleci. Literatura światowa z tej dziedziny jest ogromna i nie sposób ją tu przytoczyć. Istnieje również kilka przekrojowych opracowań w języku polskim [10-12]. Szereg konferencji naukowych organizowanych na całym świecie, np. organizowana cyklicznie konferencja „International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe” [13-15], poświęca wiele miejsca ww. badaniom.

Zakres badań odnośnie kontroli makro- i mikroskładu oraz parametrów fizykochemicznych jest zwykle ściśle określony przepisami lokalnego prawa. Ogromny postęp w metodologii analizy wody, wprowadzanie szeregu zautomatyzowanych metod analizy instrumentalnej, w znacznym stopniu ułatwia i przyspiesza tok analiz, zwiększając precyzję i efektywność prowadzonego monitoringu.

2.2. Pomiary stosunków izotopów stabilnych

W monitoringu wód wykorzystuje się badania stosunków izotopowych zarówno nuklidów budujących cząsteczki wody (D/H i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), jak również innych, takich jak $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ i $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, wchodzących w skład związków chemicznych obecnych w wodzie jako zanieczyszczenia.

Zmianę stosunku izotopów stabilnych wyraża się w postaci δ :

$$\delta = \frac{R_p - R_w}{R_w} \cdot 1000 [\text{‰}] \quad (1)$$

gdzie: R_p – stosunek izotopów badanego pierwiastka w próbce, R_w – stosunek izotopów badanego pierwiastka we wzorcu.

Zachodzące w wodzie procesy fizykochemiczne powodują powstanie różnic w wartości δ dla obserwowanych nuklidów, te zaś są podstawą do interpretacji ich genezy.

Podczas zmian stanu skupienia wody, tj. parowania i kondensacji, następuje frakcjonowanie izotopowe ze względu na różnice w lotności i szybkości dyfuzji w atmosferze różnych odmian izotopowych wody.

Para wodna pozostająca w równowadze z fazą ciekłą jestubożona w odmiany z ciężkimi izotopami. Stopień rozfrakcjonowania jest odwrotnie proporcjonalny do temperatury. Dlatego też występuje sezonowa zmiana w składzie izotopowym wód opadowych w określonym rejonie geograficznym ze zmniejszonym udziałem odmian ciężkich w miesiącach chłodniejszych. Wodyubożone we frakcje cięższe występują także na większych wysokościach. Opady w rejonach położonych w głębi lądu są z reguły bardziej ubogie niż te w rejonach nadmorskich.

W odróżnieniu od kondensacji parowanie nie ma charakteru procesu zachodzącego w warunkach równowagi. Rzeczywiste wartości rozfrakcjonowania mają wyższe wartości niż osiągane w warunkach równowagowych.

Gdy woda ulega parowaniu, lżejsze izotopowo odmiany mają większą preferencję opuszczania cieczy, a więc pozostała woda ulega wzbogaceniu w odmiany ciężkie. Stopień tego wzbogacenia zależy od temperatury, względnej wilgotności atmosfery, równowagi hydrologicznej akwenu itp.

Ważnym procesem kontrolującym wzbogacenie wód powierzchniowych jest wymiana cząsteczkowa występująca pomiędzy powierzchnią wody i cząsteczkami pary wodnej z atmosfery. Deuter i tlen-18 w wodach naturalnych podlegają następującej zależności:

$$\delta\text{D} = a \delta^{18}\text{O} + d \quad (2)$$

Dla wód, które nie podlegają parowaniu, wartość a wynosi 8, a średnia globalna wartość d dla opadów równa się 10.

Różnicowanie δ może następować również w efekcie reakcji chemicznych, którym ulegają zarówno cząsteczki wody, jak również substancji rozpuszczonych. Ten tzw. izotopowy efekt kinetyczny powstaje na skutek różnic w szybkości reakcji pomiędzy różnymi formami izotopowymi reagujących cząsteczek, np. w procesach redox.

Precyzyjne wyznaczenie składu izotopowego tlenu i wodoru w wodach o różnym stanie skupienia w różnych rejonach geograficznych jest zadaniem wielu laboratoriów na świecie.

Światowy monitoring w tym zakresie jest koordynowany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA). Odpowiednie jej agendy zajmują się kolekcjonowaniem, opracowaniem wyników, publikacją tych materiałów oraz standaryzacją metodyki badawczej. Dane te są punktem odniesienia dla zastosowań praktycznych. Charakterystyczny, lecz zróżnicowany dla różnych rejonów geograficznych i układów hydrologicznych skład izotopowy wody z jednej strony i zachowanie składu izotopowego w wodach gruntowych z drugiej strony, daje podstawę dla rozwiązywania szeregu problemów istotnych dla hydrologii regionu, zaopatrzenia w wodę, ochrony środowiska itd.

Metody izotopowe nie mogą być na ogół traktowane jako jedyne i niezależne narzędzie badawcze. Zwykle są one pomocne wszędzie tam, gdzie należy zdecydować, która ze stawianych przez hydrologów hipotez jest prawdziwa lub najbardziej prawdopodobna.

Akweny powierzchniowe są potencjalnymi źródłami zasilania podziemnych warstw wodonośnych. Innym źródłem zasilania wód gruntowych jest infiltracja lokalnych opadów. Pozostaje pytanie: które z tych źródeł ma podstawowe znaczenie? Przy rozwiązywaniu tego problemu bazuje się na fakcie, że skład izotopowy wód powierzchniowych znacznie różni się od składu lokalnych wód opadowych. Jeżeli rozpatrywanym systemem wodnym jest rzeka, to transportuje ona wodę pochodzącą z opadów na terenach leżących znacznie powyżej rejonu, gdzie bada się relację wód powierzchniowych i gruntowych. Jako efekt wysokości przyjmuje się zwykle zubożenie w tlen-18 od 0,2 do 0,3‰ na każde 100 m różnicy wysokości. Stąd skład izotopowy wody rzecznej jest bardziej zubożony w izotopy ciężkie niż wody gruntowe pochodzące z infiltracji lokalnych opadów. Zwykle rzeka drenuje wody, które pochodzą z opadów występujących na różnych wysokościach. Zanim jej wody osiągną wyznaczony rejon badań są one uśrednieniem wszystkich źródeł zasilania. Dlatego też jest niezwykle trudno ocenić indeks izotopów stabilnych tylko na podstawie topografii terenu. Potrzebne są w tym celu szczegółowe oznaczenia.

W przypadku jezior i zbiorników skład izotopów stabilnych wykazuje zubożenie w stosunku do lokalnych opadów z powodów podobnych jak dla rzek. Jeżeli parowanie nie wprowadza żadnych istotnych korekt w składzie izotopowym wody, wówczas można traktować je jak rzeki. Jeżeli jednak parowanie powoduje wzbogacenie w tlen-18 i deuter, wówczas skład izotopowy będzie układać się wzdłuż linii parowania o mniejszym nachyleniu niż woda nie podlegająca temu procesowi.

Praktycznie wszystkie interesujące z punktu widzenia ekonomiki eksploatacji wody gruntowe pochodzą z opadów. Opady mogą zasilać wody gruntowe bezpośrednio przez infiltrację lub pośrednio poprzez infiltrację z akwenów powierzchniowych. Jednak nawet gdy brak jest kontaktu z akwenami powierzchniowymi, głębsze wody gruntowe mogą być zasilane nie tylko przez bezpośrednią infiltrację lokalnych opadów, lecz również przez wody gruntowe z wyższych rejonów, gdzie zasilanie opadami może być intensywniejsze. W przypadku spękanych skał takich jak kras rejony zasilania mogą być odległe; zasilanie może pochodzić nawet z innego działu wodnego niż wynika to z prostej analizy topograficznej badanego rejonu.

Kłopotów mogą następcza również przecieki pomiędzy różnymi systemami wodonośnymi. Wiele problemów dotyczących pochodzenia wód gruntowych związanych jest z efektem „wysokościowym”, zubażającym opady w izotopy ciężkie. Różnice w składzie izotopowym wód gruntowych mogą powstawać nawet przy tym samym źródle zasilania. Mogą pojawiać się one gdy jeden z systemów był zasilany przed globalnym oziębieniem klimatu powodującym większe zubożenie w izotopy ciężkie. Studia prowadzone na dużym obszarze

pozwalają stwierdzić, że jedno potencjalne źródło wód gruntowych może być zasilane z różnych rejonów geograficznych, co również powoduje zmiany w składzie izotopowym.

Jak widać, w programach badawczych tego typu mogą pojawiać się liczne trudności interpretacyjne. Tym niemniej metoda izotopowa w większości przypadków pozwala na określenie pochodzenia wód, co ma podstawowe znaczenie w ocenie możliwości eksploatacyjnych.

Wykrywanie oraz oznaczanie zanieczyszczeń wód powierzchniowych i gruntowych wykorzystuje badanie stosunków izotopowych $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$.

Eksperymenty z zastosowaniem ^{15}N i ^{13}C są bardzo cenne dla badań nad metabolizmem roślin i zwierząt, oceną efektywności zastosowanych nawozów oraz ich migracji w glebie i złożach wodonośnych. Badania te związane są zarówno z problemem produkcji żywności, jak również eutrofizacji wód, zwłaszcza na terenach rolniczych.

Coraz to większe znaczenie, szczególnie w rejonach uprzemysłowionych, mają pomiary ^{34}S w celu badania cyklu obiegu siarki w środowisku. Badania ^{13}C , ^{15}N i ^{34}S znajdują też zastosowanie w ocenie zagrożeń ekologicznych, zwłaszcza w rejonie składowisk odpadów, wysypisk śmieci, hałd itp.

Począwszy od wczesnych lat sześćdziesiątych w.w. badania stanowią temat wielu projektów badawczych na świecie oraz są szeroko reprezentowane w literaturze i programach międzynarodowych konferencji naukowych [16-24].

Podstawową metodą badawczą stosowaną powszechnie w badaniach składu izotopowego izotopów stabilnych jest spektroskopia masowa stosunków izotopowych (Isotope Ratio Mass Spectroscopy - IRMS). Metoda ta, będąca odmianą klasycznej spektrometrii masowej, została opracowana pod koniec lat czterdziestych przez Niera. Podstawowa modyfikacja polegała na zastosowaniu dwóch lub nawet trzech pułapek jonowych i wyznaczenie stosunku składu izotopowego na podstawie kompensacji prądu powstającego w pułapkach kolekcjonujących poszczególne masy izotopowe. Z kolei porównanie z odpowiednimi standardami pozwala wyznaczyć wartość δ .

W roku 1997 Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zakupił nowoczesny spektrometr IRMS typu Delta Plus firmy Finnigan. Spektrometr wyposażony jest w automatyczne linie pomiarowe D/H i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ w wodzie. Zbudowano również linię próżniową do preparatyki próbek przeznaczonych do pomiarów IRMS. W chwili obecnej linia ta pozwala na preparatykę siarki w postaci SO_2 dla pomiarów $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ oraz składu izotopowego siarki i tlenu w jonie siarczanowym.

2.3. Pomiary izotopów promieniotwórczych na potrzeby monitoringu wód

Badania trytowe są jedną z podstawowych metod w monitoringu wód i hydrogeologii. Inne izotopy promieniotwórcze występujące naturalnie w przyrodzie bada się znacznie rzadziej; wtedy, gdy jest to uzasadnione lokalnymi źródłami ich inkorporacji do wód. Do takich nuklidów można zaliczyć: ^{14}C , ^{40}K , ^{35}Si , ^{39}Ar , ^{85}Kr , ^{222}Rn , ^{226}Ra i inne [25].

Metoda trytowa znalazła liczne zastosowania w badaniach hydrologicznych i hydrogeologicznych na świecie. W literaturze światowej można znaleźć wiele opracowań na ten temat [25-28]. Wiele przykładów stosowania tej metody przedstawiono też w materiałach z konferencji izotopowych MAEA [16-24].

Ze względu na duże rozcieńczenie koncentracje trytu w wodach naturalnych są bardzo niskie i jego stężenie określane jest za pomocą specjalnie wprowadzonej nowej jednostki –

tzw. „jednostki trytovej” (Tritium Unit – TU). Określa ona taką zawartość trytu, w której jeden atom tego izotopu przypada na 10^{18} atomów wodoru.

Do roku 1951 jedynym źródłem trytu w wodach opadowych było jego wytwarzanie przez promieniowanie kosmiczne. Szybkość wytwarzania trytu przez promieniowanie kosmiczne wynosi ok. $0,25$ atomów/cm³/s i może być uznana za stałą w historii Ziemi.

W latach 1953-1962 duże ilości trytu pojawiły się w atmosferze w wyniku wybuchów jądrowych. Po wprowadzeniu ich zakazu koncentracja trytu w opadach zaczęła systematycznie maleć.

Maksymalną koncentrację trytu w opadach atmosferycznych w Europie Środkowej zarejestrowano w roku 1963 i wynosiła ona ok. 6500 TU. W roku 1968 wartości koncentracji opadły do ok. 400 TU w lecie i 100 TU w zimie. Natomiast w latach 1982-1987 stężenie trytu w opadzie atmosferycznym (dla nizinnych rejonów w Polsce) przyjmowało wartości ok. 45 TU w lecie oraz ok. 10 TU zimą.

Koncentracja trytu w opadach wykazuje cykliczność maksimów wiosenno-letnich i minimów zimowych. Cykliczność ta jest związana z faktem, że większość trytu z wybuchów jądrowych została zatrzymana w stratosferze. Około połowa zapasu trytu ze stratosfery jest wprowadzana do troposfery wiosną każdego roku, dając maksima koncentracji trytu w opadach.

Rozwój metody trytovej nastąpił głównie w wyniku zastosowania do pomiarów techniki ciekłych scyntylatorów, pozwalającej na szybkie i masowe oznaczenia zawartości trytu w próbach wody. Dużą niedogodnością w praktycznym stosowaniu tej metody jest bardzo niska energia promieniowania trytu, uniemożliwiająca jego detekcję w wodzie *in situ*. Uwzględniając również fakt, że aktualnie koncentracja trytu w wodach podziemnych jest rzędu od kilku do kilkunastu TU, a w wodach powierzchniowych nie przekracza 45 TU, dla wykonania pomiarów aktywności wymagana jest wstępna obróbka fizykochemiczna prowadząca do wzbogacenia badanej próbki wody w tryt.

W prawie wszystkich laboratoriach prowadzących pomiary stężeń trytu w wodach stosowana jest elektrolityczna metoda wzbogacania. Próbka dostarczona do laboratorium poddawana jest oczyszczeniu przez destylację, a następnie wzbogacana na drodze elektrolizy. W czasie elektrolizy izotopy lekkie szybciej rozkładają się na elektrodach, dzięki czemu uzyskuje się wzbogacenie fazy ciekłej w izotopy cięższe. W przypadku izotopów wodoru na katodzie następuje szybszy rozkład cząsteczek wody zawierających wodór (H₂O) niż cząsteczek wody zawierających deuter (HDO) i tryt (HTO).

W laboratorium trytowym IChTJ proces elektrolizy prowadzi się w sposób ciągły od początkowej objętości elektrolitu 350 ml do końcowej 15 ml. Czas trwania elektrolizy wynosi ok. 100 godzin. Eksperymentalnie stwierdzono, że wielkość wzbogacenia stanowi 70-80% krotności kontrakcji objętości.

W celu określenia wielkości wzbogacenia równoległe z badanymi próbkami prowadzi się elektrolizę standardu wody o znanej zawartości trytu, która mierzona przed i po elektrolizie pozwala określić stopień wzbogacenia.

Pomiar zawartości trytu w próbach wody realizowany jest powszechnie za pomocą metody scyntylacyjnej z użyciem scyntylatorów ciekłych. W IChTJ pracuje od 1998 roku system pomiarowy zawartości trytu w wodzie wykorzystujący 20-miejscowy elektrolityczny zestaw do wzbogacenia wody w tryt, zaprojektowany i wykonany w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Techniki Geologicznej w Warszawie [28], oraz spektrometr ciekłoscyntylacyjny firmy Packard typu Tri-Carb 3255.

Metoda trytova znalazła zastosowanie w badaniach hydrogeologicznych o charakterze zarówno regionalnym, jak i lokalnym. Jej stosowanie wymaga znajomości koncentracji trytu

w opadach atmosferycznych, wodach powierzchniowych i wodach podziemnych. Na podstawie różnic w zawartości trytu można wyciągnąć wnioski natury hydrologicznej lub hydrogeologicznej. Częstotliwość pomiarów zawartości trytu w badanych wodach zależy od rodzaju problemu, który zamierza się rozwiązać. Rok hydrogeologiczny zaczyna się w październiku, kiedy opady i ewapotranspiracja równoważą się, okres aktywnego wzrostu roślin kończy się, występuje niedobór wody w gruncie, a zwierciadło wód podziemnych znajduje się w położeniu blisko minimalnego. Opady w tym okresie są pochłaniane przez suchy grunt.

Jeżeli w tym czasie strefa aeracji zostanie nasycona wodą, to dodatkowe jej ilości mogą być wykorzystane na zasilanie wód podziemnych. Ma to miejsce w okresie od grudnia do marca, tj. w okresie, gdy średnia koncentracja trytu w wodach opadowych jest najniższą w ciągu roku. Wartość ta stanowi podstawę do interpretacji wyników badań określania zasobów dynamicznych wód podziemnych. W ostatnim okresie pogład ten został zakwestionowany.

Koncentracja trytu w okresie zasilania jest zatem niższa od średniej rocznej koncentracji w opadach. W okresie od maja do października straty spowodowane ewapotranspiracją przekraczają wysokość opadów i tylko bardzo mała ilość trytu może wówczas podczas długotrwałych opadów przedostać się do wód podziemnych.

Z tego też względu maksymalne roczne koncentracje trytu z opadów nie przenikają do wód podziemnych. Zmiany w rocznym cyklu opadowym mają dość istotne znaczenie i wpływają na wartość średniej koncentracji trytu w wodzie zasilającej zbiorniki podziemne. Jeżeli na przykład okresy jesieni i zimy lub wczesnej wiosny są suche, wówczas zasilanie powinno pochodzić z opadów późnej wiosny, tj. podczas wzrostu koncentracji. Wynikiem tego będzie znaczne zwiększenie koncentracji trytu w wodach zasilających.

Na przebieg procesu zasilania ma także wpływ temperatura powietrza. Zamarzanie gruntu w zimie zmniejsza do minimum proces infiltracji. Inny czynnik wywierający wpływ na zmiany koncentracji w wodzie strefy zasilania, to wegetacja roślin i rodzaj pokrycia gruntu. W przypadku bezpośredniego zasilania wód podziemnych przez opady poprzez dobrze przepuszczalne skały (wapienie krasowe lub spękany bazalt) koncentracja trytu w wodach podziemnych może odzwierciedlać zmiany koncentracji trytu w opadach.

Ważnym czynnikiem dla przebiegu procesu infiltracji jest rodzaj i uziarnienie gruntu w strefie aeracji. Dla właściwego ustalenia koncentracji w wodach zasilających należy brać pod uwagę możliwości infiltracji w okresie topnienia śniegu oraz infiltracji z rzek. Każdą sytuację zasilania wód podziemnych należy zanalizować oddzielnie biorąc pod uwagę ww. czynniki.

W obrębie jednej warstwy wodonośnej mogą również występować wahania warunków zasilania, stąd też dla obszaru rozległej warstwy wodonośnej należy przyjmować średnie warunki zasilania.

Ogólnie można przyjąć następujący uproszczony schemat jakościowej interpretacji danych trytowych:

- Stężenie trytu w wodzie bliskie zera
Oznacza to, że badana warstwa wodonośna jest izolowana od powierzchni, a okres cyrkulacji wód jest z pewnością dłuższy od 50 lat.
Zaznaczyć trzeba, że wody starsze lub nieodnawialne także nie wykazują obecności trytu, o ile nie są mieszane ze świeżymi wodami opadowymi.
- Woda wykazuje zawartość trytu, która podlega fluktuacji czasowej
Oznacza to, że znaczna ilość wody opadowej jest obecna w punkcie poboru próbek. Fluktuacje stężeń trytu odpowiadają zmiennemu zasilaniu przez infiltrację, a niekiedy zmianom sezonowym stężenia trytu w opadach.

Stosując różne modele można próbować określić sposób zasilania, czas infiltracji itp. Fluktuacje zawartości trytu wskazują zawsze na krótki czas cyrkulacji (ew. mieszanie z wodami starszymi) oraz niewielką objętość zbiornika wodnego.

Inną możliwością jest obecność w punkcie poboru wody z dwóch niezależnych źródeł zasilania, np. wody „dalekiego krążenia” oraz „młodej” wody zawierającej tryt, zwykle bliskiego zasilania. Względny udział w próbce wód jednego i drugiego pochodzenia wywołany np. zmianami sezonowymi i intensywnością infiltracji bliskiego zasilania może powodować wzrost stężenia trytu w pobieranych wodach.

- Woda wykazuje pewną zawartość trytu stałą w czasie
Oznacza to fakt dobrego wymieszania się wód opadowych i podziemnych oraz dużą objętość zbiornika wodnego, co tłumaczy zmiany sezonowe trytu w wodzie zasilającej.
- Woda wykazuje dużą zawartość trytu i fluktuacje sezonowe
Oznacza to, że mamy do czynienia z wodą bardzo młodą, zasilaną w ciągu ostatnich lat.

Ilościowa interpretacja hydrogeologiczna danych z obserwacji koncentracji trytu powinna być oparta na znajomości budowy geologicznej badanego zbiornika wodnego. W literaturze fachowej rozważa się umownie trzy systemy wzajemnych relacji wody zasilające-podziemny zbiornik wodny, a mianowicie:

- całkowite wzajemne mieszanie wód,
- brak mieszania,
- częściowe mieszanie w zbiorniku.

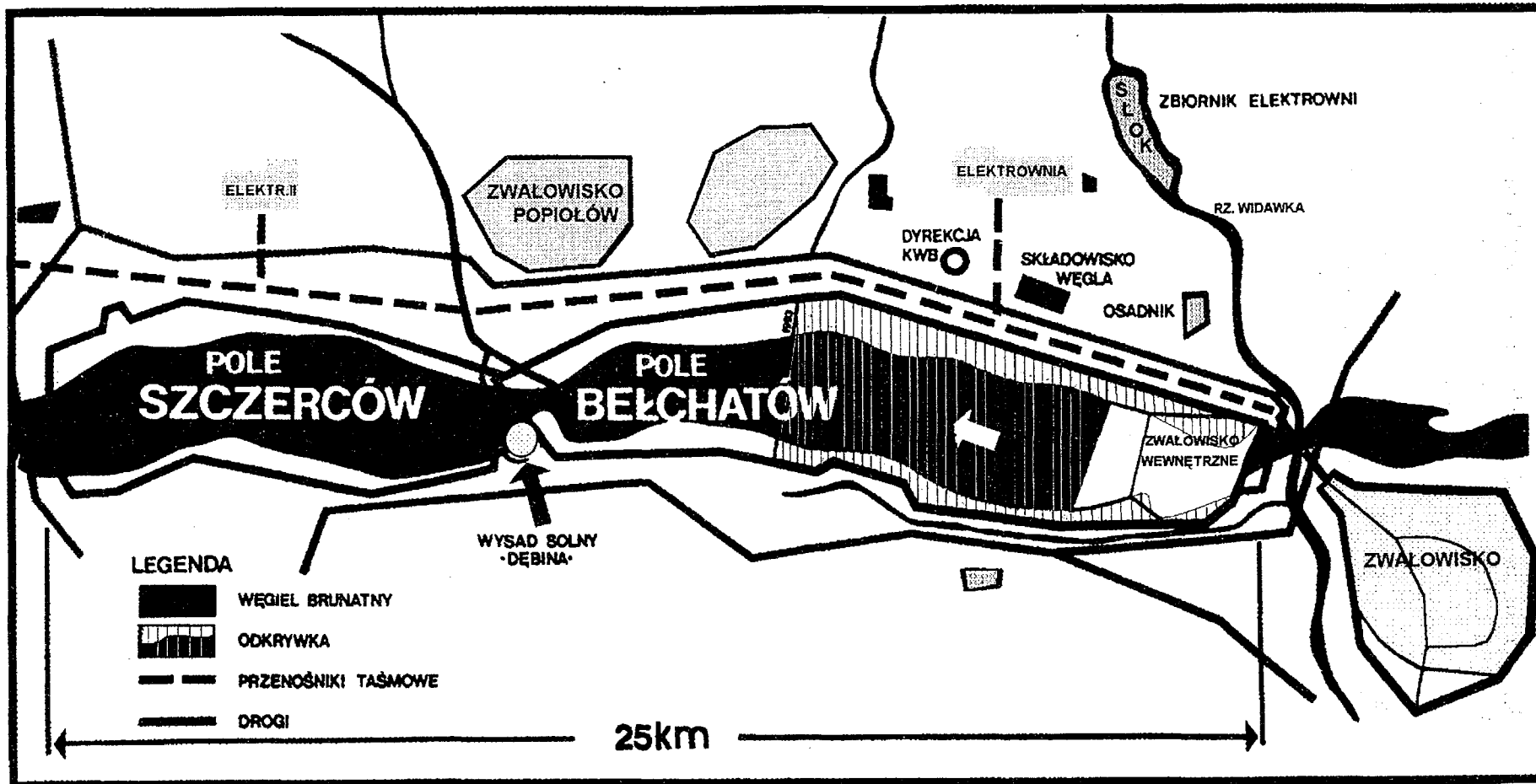
Dwa pierwsze z wymienionych systemów posiadają aktualnie znaczenie historyczne, stanowiące podstawę do rozwoju doskonalszych metod interpretacji opartych na modelu z częściowym wzajemnym mieszaniem [29].

3. CEL PRACY

Celem pracy jest określenie wpływu wód podziemnych, pompowanych przez system odwodnienia wglębnego Kopalni Węgla Brunatnego (KWB) „Bełchatów” oraz odprowadzanych z rejonu bariery ochronnej wysadu solnego Dębina na jakość wód rzeki Widawki i jej dopływów – od przekroju Ruszczyń do jej ujścia do rzeki Warty, z uwzględnieniem potencjalnego oddziaływania „mokrego” i wewnętrznego zwałowiska popiołów kopalnianych (rys.1).

Zakres badań i sposób ich opracowania spełniają zalecenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska w sprawie tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych i powierzchniowych. Badania obejmują:

- analizę zmian jakości wód powierzchniowych rzeki Widawki oraz w kanałach i rowach na obszarze kopalni w porównaniu do stanu z lat 1996-1998 wraz z oceną jakości wg obowiązujących przepisów MOŚZNiL,
- analizę zasięgu i wielkości degradującego wpływu wysadu solnego Dębina na jakość wód podziemnych na obszarze depresyjnego oddziaływania bariery ochronnej i w studniach zlokalizowanych na zachodnim przedpołu odkrywkii,



Rys.1. Plan zagospodarowania KWB „Bełchatów”.

Tabela 1. Lokalny monitoring wód powierzchniowych.

Nr punktu	Lokalizacja	Typ analizy
Widawka		
1	Ruszczyn (wodowskaz)	D
2	Słok wylot	A
3	powyżej Strugi Żłobnickiej	A
4	Kuźnica Kaszewska (wodowskaz + limnigraf)	D
5	Zarzecze (wodowskaz)	C
6	powyżej nowego koryta Aleksandrowskiej Strugi	A
7	poniżej nowego koryta Aleksandrowskiej Strugi	D
8	Szczerców (wodowskaz)	C
9	powyżej Krasówki	D
10	Podgórze (wodowskaz)	D
Struga Żłobnicka		
11	Rogowiec (wodowskaz + limnigraf)	B
12	Kuźnica (wodowskaz + limnigraf)	D
Struga Aleksandrowska		
13	powyżej kanału K-7 (wodowskaz + limnigraf)	A
14	Kamień (wodowskaz + limnigraf)	B
15	stare koryto Lubośnia	A
16	nowe koryto	D
Krasówka		
17	poniżej zbiornika Winek (wodowskaz+limnigraf)	B
18	Krasowa (wodowskaz)	D
Rakówka		
19	Rzasawa (wodowskaz)	C
Warta		
20	powyżej Widawki	D
21	poniżej Widawki	D
Rowy i kanały		
22	kanał wód brudnych poniżej osadnika S	B
23	kanał wód brudnych poniżej osadnika N (wodowskaz+limnigraf)	B
24	kanał 1 + 2 – ujście	B
25	kanał 3 + 4	B
26	kanał 5 – ujście	A
27	kanał 6 – ujście	A
28	kanał 7 – ujście (wodowskaz + limnigraf)	A
30	kanał 9 – ujście (wodowskaz + limnigraf)	B
31	rów 17 – ujście	A
Dębina		
32	rów wschodni	A
33	rów zachodni	A+Na, K
34	rów zbiorczy (wodowskaz + limnigraf)	A+Na, K

Typ analizy: „A” - pH, substancje rozpuszczone, zawiesina, twardość, zasadowość, HCO₃, Cl, SO₄, Ca, Mg; „B” - „A” + ChZT_{C_p}, utlenialność, N(NH₄); „C” - „B” + Fe, PO₄, Na, K; „D” - „C” + BZT.

- roczną (stan na 31.12.2000 r.) prognozę zmian cech jakościowych wód odprowadzanych rowami z rejonu wysadu solnego Dębina oraz pompowanych przez studnie w 5 wydzielonych częściach bariery ochronnej dla planowanej średniej rzędnej zwierciadła wód w poziomie mezozoicznym 50 ± 5 m npm,
- poszukiwanie hydrochemicznej genezy niekorzystnych zmian składu makrochemicznego wód podziemnych na podstawie wyników oznaczeń koncentracji wybranych mikrośladników i badań izotopowych.

Przedmiotem badań są wody powierzchniowe i podziemne pobrane w następujących rejonach kopalni:

- wody rzek: Widawka, Rakówka, Krasówka i Warta oraz z kanałów i rowów sieci odwodnienia głównego – lokalizacja punktów badania wyszczególniona w tabeli 1;
- rejon bariery ochronnej wysadu solnego Dębina (studnie pompowane, rowy wód „zasolonych”, wybrane piezometry wszystkich grup obserwacyjnych);
- studnie wszystkich barier na zachodnim skraju systemu odwodnienia wglębnego;
- otwory obserwacyjne zachodniego przedpola kopalni zlokalizowane pomiędzy wysadem solnym a krawędzią wykopu, łącznie z wybranymi piezometrami Pw zlokalizowanymi na tym obszarze;
- studnie barier N, A-1 i A zlokalizowane w strefie oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów Bagno Lubień;
- wybrane, czynne studnie odwodnienia wglębnego oraz studnie ujęć wody pitnej zlokalizowane w rejonie potencjalnego oddziaływania wewnętrznego zwałowiska popiołów.

Dla określenia jakości wód przeprowadzono pomiary:

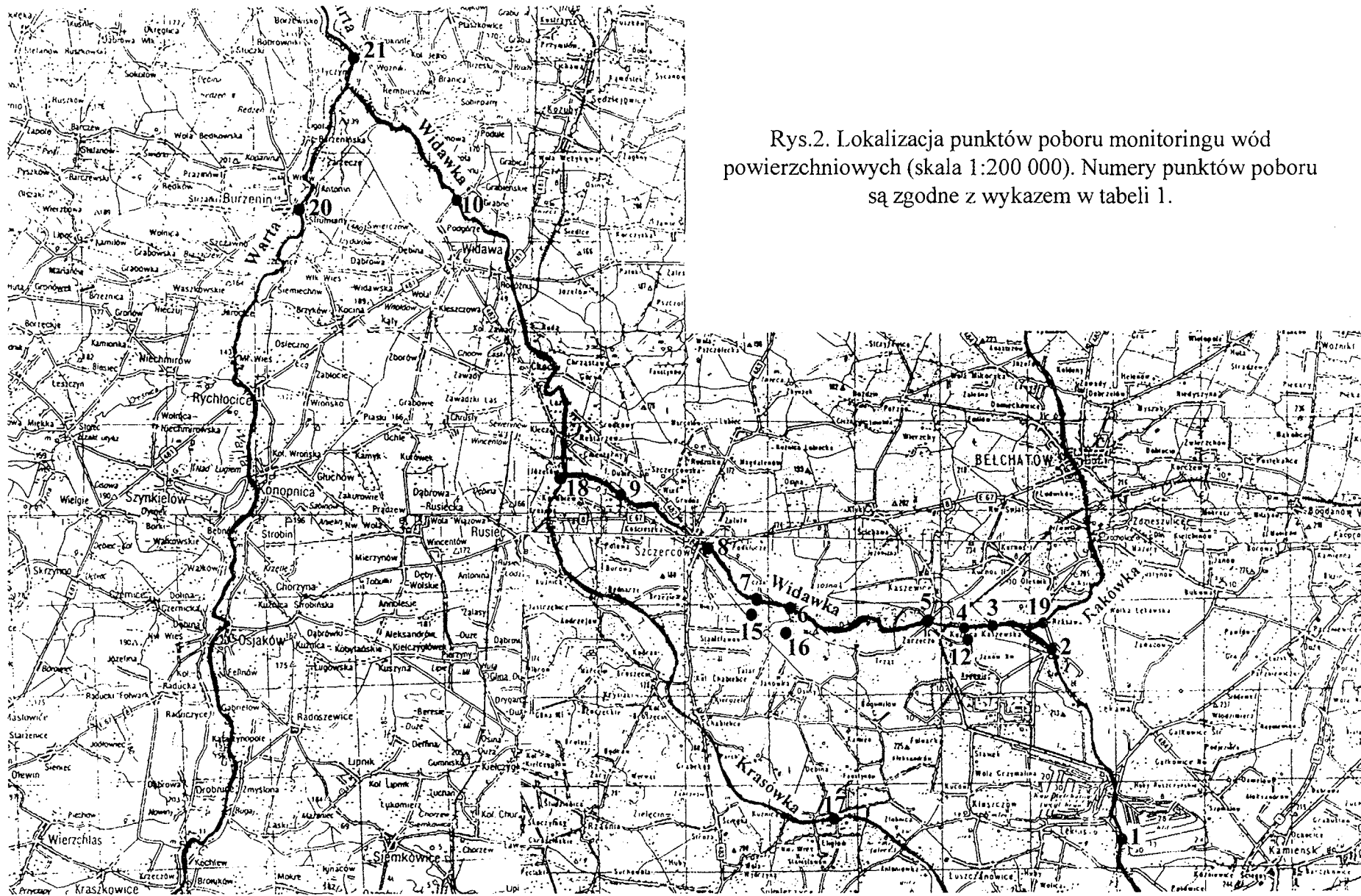
- środowiskowych stężeń trytu – w rejonie bariery ochronnej wysadu solnego, studniach okonturowujących zwałowisko wewnętrzne i na zachodnim skraju systemu odwodnienia wglębnego;
- składu izotopowego siarki i tlenu w jonie siarczanowym wód – w studniach w rejonie oddziaływania obu składowisk popiołów i z bariery ochronnej wysadu solnego;
- środowiskowych koncentracji radonu Rn-222 i radu Ra-226 – wyłącznie w studniach bariery ochronnej wysadu solnego.

4. WYNIKI I WNIOSKI

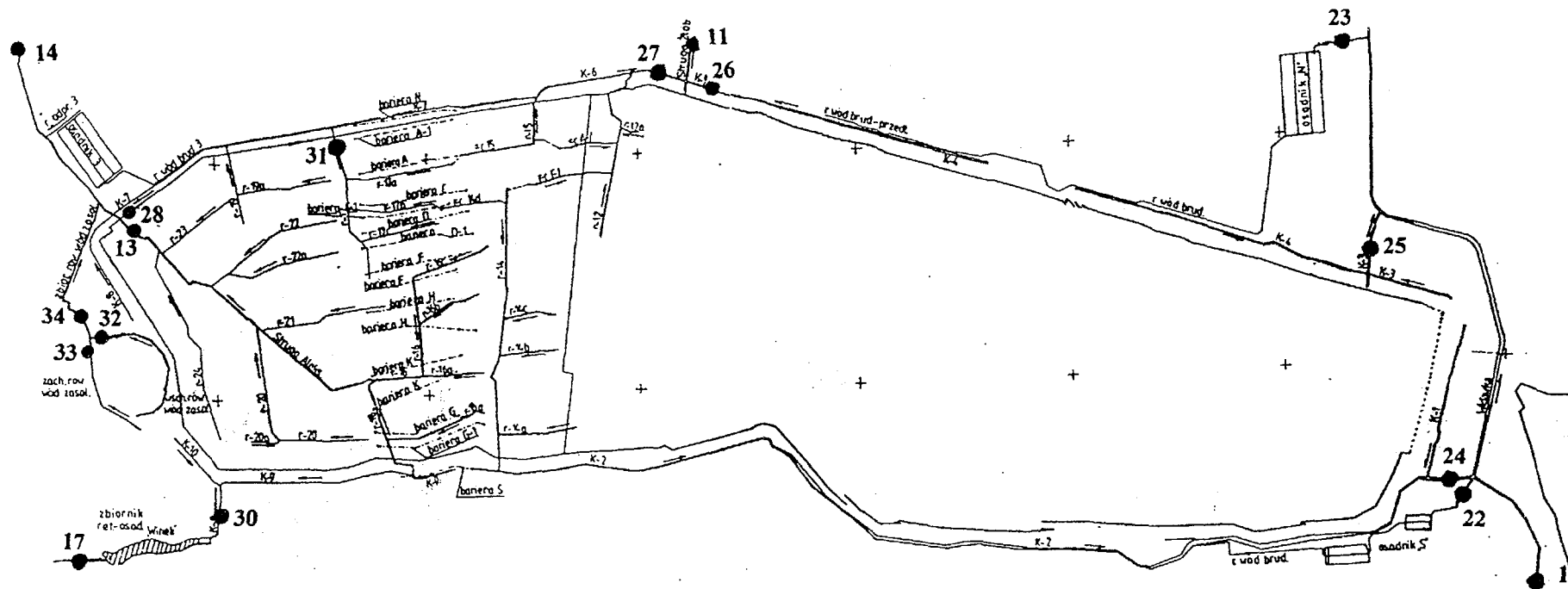
4.1. Monitoring wód odprowadzanych z systemu odwodnienia kopalni oraz wód zlewni rzeki Widawki od przekroju Ruszczyń do ujścia do rzeki Warty

Monitoring wód powierzchniowych na obszarze potencjalnego oddziaływania KWB „Bełchatów” prowadzony jest systematycznie od ok. 10 lat.

Lokalizacja punktów badania wód powierzchniowych zbliżona jest do sieci monitorowania z roku 1998. Badania jakości wód powierzchniowych wykonano w 33 punktach, których lokalizację zestawiono w tabeli 1 i przedstawiono na rys.2 i 3. W tabeli 1 podano dodatkowo informację o zakresie wykonanych analiz makrochemicznych oraz oznaczeń związanych z zawartością i zapotrzebowaniem tlenu. Mikroślad chemiczny oznaczano w pełnym



Rys.2. Lokalizacja punktów poboru monitoringu wód powierzchniowych (skala 1:200 000). Numery punktów poboru są zgodne z wykazem w tabeli 1.



Rys.3. Schemat odwodnienia głównego KWB „Bełchatów” - lokalizacja punktów monitoringu wód. Numery punktów próbkowania są zgodne z wykazem w tabeli 1.

zakresie pierwiastków śladowych objętych normą jakościową [4,5] dla wód powierzchniowych.

Uśrednione wyniki badania jakości wody rzeki Widawki w przekrojach Ruszczyń, Zarzecze i Szczerców przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wynik badania wody rzeki Widawki – wartości średnie oznaczeń wykonanych w 1999 roku.

Wskaźnik	Miano	Ruszczyń	Zarzecze	Szczerców	Zawartość w wodach powierzchniowych I kl. czystości
Odczyn	pH	7,6	7,5	7,7	6,5–8,5
Subst. rozpuszczone	mg/l	371	398,5	398,2	500 i <
Zasadowość	mval/l	2,8	3,3	3,5	
Twardość	mgCaCO ₃ /l	234,7	264,0	271,7	350 i <
Wapń	mgCa/l	72,7	80,2	76,0	
Magnez	mgMg/l	7,8	9,3	11,5	
Potas	mgK/l	2,15	2,54	2,81	10 i <
Sód	mgNa/l	9,8	16,1	12,3	100 i <
Chlorki	mgCl/l	25,8	38,4	26,5	250 i <
Siarczany	mgSO ₄ /l	55,7	63,0	39,2	150 i <
Wodorowęglany	mgHCO ₃ /l	172,9	201,4	216,0	
Bar	µgBa/l	64,6	70,8	70,9	
Brom	µgBr/l	170	610	310	
Chrom (ogól.)	µgCr/l	2,2	2,6	1,9	50 i < *
Cynk	µgZn/l	15,1	22,6	18,7	200 i <
Kadm	µgCd/l	0,1	0,4	0,0	5 i <
Miedź	µgCu/l	21,0	14,4	6,7	50 i <
Nikiel	µgNi/l	3,3	3,4	2,5	1000 i >
Olów	µgPb/l	2,9	2,9	1,8	50 i <
Rtęć	µgHg/l	0,1	0,1	0,3	1 i <
Srebro	µgAg/l	0,3	0,2	0,4	10 i <
Stront	µgSr/l	275,5	538,6	456,6	
Wanad	µgV/l	1,7	1,4	0,8	1000 i <
Azot amonowy	mgN/l	0,17	1,66	0,18	5,0 i <
ChZTMn	mgO ₂ /l	10,1	7,45	6,42	10 i <
Tlen rozp.	mgO ₂ /l	6,0	6,5	8,8	6 i >
BZT5	mgO ₂ /l	3,18	4,47	2,57	4 i <
Typ twardości wody		HCO ₃ - SO ₄ -Ca	HCO ₃ - SO ₄ -Ca	HCO ₃ -Ca	

* Dotyczy chromu Cr⁺⁶.

Wody odprowadzane z systemu odwodnienia kopalni do rzeki Widawki

Przedstawione poniżej wnioski dotyczą oceny jakości wód odprowadzanych przez system odwodnienia węgelnego kopalni i ich wpływu na jakość wód rzeki Widawki oraz jej dopływów – od przekroju Ruszczyn do ujścia jej do Warty.

a) Wody w badanych kanałach i rowach systemu odwodnienia głównego KWB „Bełchatów” zgodnie z przyjętymi zasadami klasyfikacji [5] są:

- „słodkie”, o suchej pozostałości $< 500 \text{ mg/dm}^3$;
- słabo zasadowe – $7 < \text{pH} < 8$;
- średniej twardości $< 6 \text{ mval/dm}^3$.

b) Wody kanałów i rowów charakteryzują się (średnio):

- twardością typu $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$,
- odpowiadają I klasie czystości śródlądowych wód powierzchniowych [5].

Klasę czystości ww. wód ustalono na podstawie zawartości mineralnych substancji rozpuszczonych, koncentracji wskaźników eutroficznych oraz chemicznego i biochemicznego zapotrzebowania tlenu.

c) W pięciu punktach monitorowania stwierdza się wody, w których ilość substancji rozpuszczonych przekracza 500 mg/dm^3 , tj. wartość progową dla I klasy czystości. Przekroczenie występuje:

- we wszystkich seriach wykonanych oznaczeń – w wodach kanału K-5, wypływie z osadnika „N” i w zachodnim rowie wód „zasolonych” wysadu Dębina;
- incydentalnie – w wypływach z osadnika „S”, kanałe K-9 i w rowie zbiorczym wysadu Dębina.

Średnia roczna ilość substancji rozpuszczonych w wodach ww. punktów spełnia wymogi I klasy czystości.

d) W stosunku do stanu z roku 1998 – ustalonego na podstawie badań wykonanych przez „Poltegor - Instytut” i Laboratorium Chemiczne KWB „Bełchatów” – stwierdzono, że w 1999 roku nastąpił (średnio) wzrost koncentracji większości jonowych wskaźników mineralizacji wody, w tym obu anionowych wskaźników „zasolenia” chlorków – Cl i siarczanów – SO_4 (rys.4). Największy wzrost wskaźników „zasolenia” nastąpił w 1999 roku w wodach odprowadzanych z wysadu solnego.

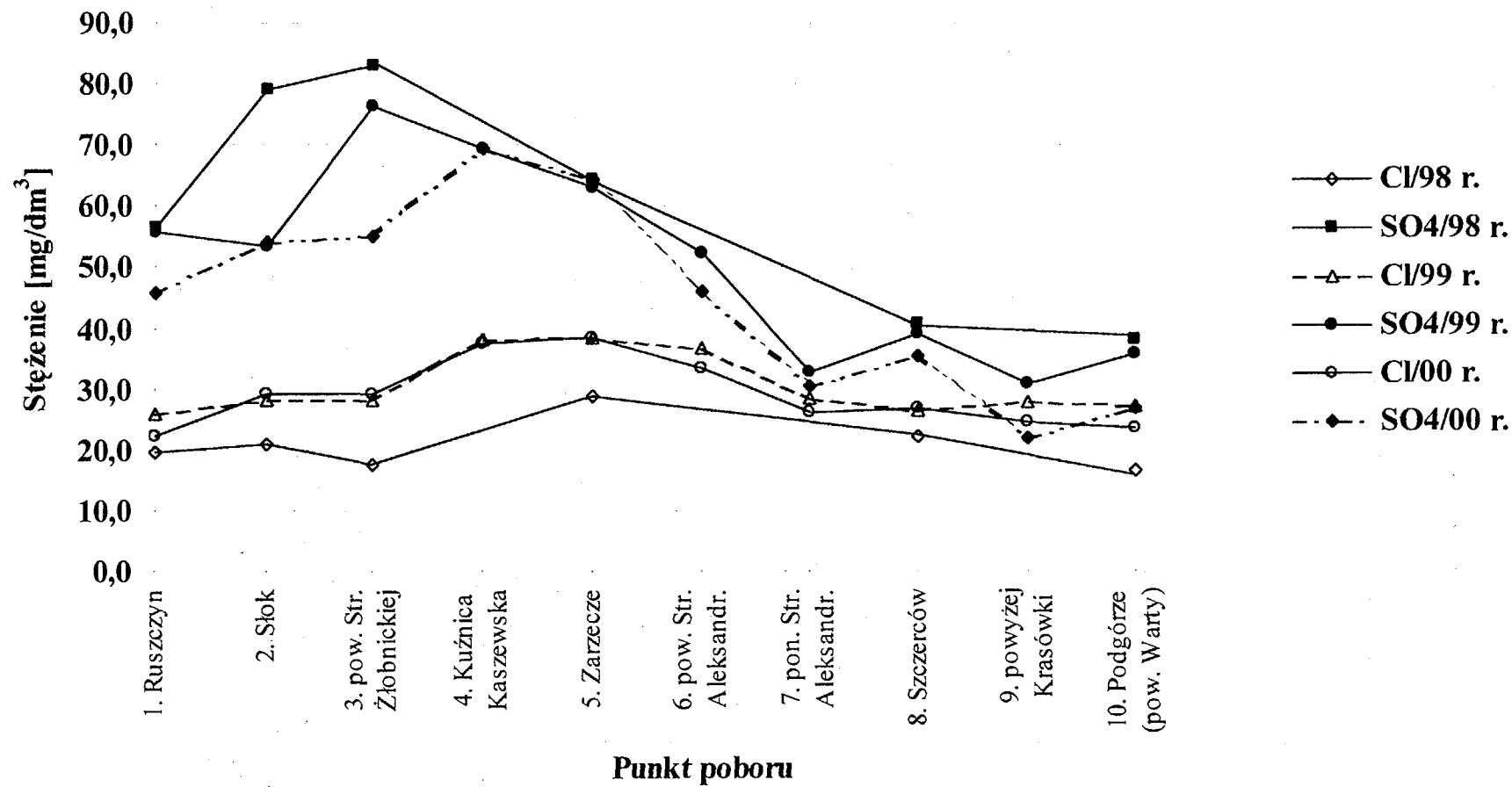
Obserwowany w 1999 roku wzrost średniego stężenia jonów sodowych – Na wynika z nieporównywalności zbiorów punktów monitorowania – w roku 1998 nie wykonano oznaczenia Na w wodach rowu zachodniego wysadu Dębina.

Zmiana średniego typu twardości z $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ na $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ ma w związku z tym charakter pozorny.

e) Kopalnia KWB „Bełchatów” w ramach istniejącego systemu odwodnienia głównego odprowadza wody do rzeki Widawki w 6 punktach. Największy wpływ na jakość wód rzeki Widawki mają wody odprowadzane w dwóch miejscach: wypływ z osadnika „N” oraz zrzut Strugi Żłobnickiej (odprowadzającej wody ze studni barier N i A-1 zlokalizowanych w strefie oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów). Wody odprowadzane z systemu odwodnienia kopalni w pozostałych 4 punktach zrzutu poprawiają wskaźniki jakości wód rzeki Widawki.

f) Jakość wody rzeki Widawki w 1999 roku kontrolowano systematycznie w 10 punktach, zwiększając w porównaniu do roku 1998 liczbę punktów monitorowania o 4. Zgodnie z przyjętymi zasadami klasyfikacji [5] wody rzeki Widawki od przekroju Ruszczyn do ujścia są:

- „słodkie”, zawierające od 360 do 405 mg/dm^3 substancji rozpuszczonych;
- słabo zasadowe – $7,2 < \text{pH} < 7,9$;
- o twardości w granicach $220\text{-}292 \text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$ ($4,0\text{-}5,3 \text{ mval/dm}^3$).



Rys.4. Monitoring wód rzeki Widawki - stężenie chlorków i siarczanów w latach 1999-2000.

- g) W punkcie dopływu do obszaru monitorowania – przekrój Ruszczyn – wody rzeki Widawki mają twardość typu $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Pod względem zawartości podstawowych wskaźników mineralnych oraz koncentracji normowanych metali ciężkich [4,5] i pozostałych pierwiastków śladowych jakość wód Widawki w przekroju Ruszczyn odpowiada I klasie czystości.
- W ww. punkcie monitorowane wody mają (średnio w 1999 roku) II klasę czystości, ze względu na zwiększone chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT_{Mn} i zbyt małą zawartość tlenu rozpuszczonego.
- h) W całym dolnym biegu rzeki Widawki, tj. na obszarze potencjalnego oddziaływania kopalni, jakość wód odpowiada I klasie czystości, a wyjątki są incydentalne:
- w przekroju Zarzecze (punkt 5) i powyżej nowego ujścia Strugi Aleksandrowskiej ze względu na zawartość jonów NH_4 i biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT_5 , wody spełniają wymogi II klasy czystości;
 - ze względu na zawartość tlenu rozpuszczonego II klasę czystości mają wody rzeki Widawki w przekrojach: poniżej Strugi Żłobnickiej (punkt 4), poniżej Strugi Aleksandrowskiej (punkt 7) i powyżej ujścia do Warty (punkt 10).
- i) Ze względu na systematycznie przekraczaną normę zawartości azotu amonowego oraz chemicznego i biochemicznego zapotrzebowania tlenu najmniej korzystna jest jakość wód rzeki Rakówki w Rząsawie. Wody Rakówki są z tego względu II, a okresowo nawet III klasy czystości.
- j) Zawartość metali ciężkich i innych pierwiastków śladowych w 1999 roku oznaczano dwukrotnie w 10 punktach monitorowania, nie stwierdzając nigdzie przekroczenia stężeń normatywnych dla I klasy czystości. Wyniki oznaczeń wskazują, że koncentracje metali ciężkich są od 10 do ok. 1000 razy mniejsze od stężeń progowych dla I klasy czystości. Wody odprowadzane z systemu odwodnienia kopalni do rzeki Widawki i jej dopływów nie zawierają zanieczyszczeń antropogenicznych wynikających z obecności metali ciężkich.
- k) W nawiązaniu do wniosku podanego w pkt. e), wody odprowadzane z systemu odwodnienia kopalni mają wpływ na zawartość siarczanów i chlorków w wodach rzeki Widawki na odcinku od przekroju Słok (punkt 2) do przekroju Zarzecze (punkt 5). W punkcie 6 – powyżej nowego ujścia Strugi Aleksandrowskiej – koncentracja wskaźników „zasolenia” wód jest niższa od występującej w przekroju Ruszczyn (punkt 1).
- l) Krańcowym punktem odprowadzania wód kopalnianych jest ujście do Widawki rzeki Krasówki (punkt 18). Wody rzeki Krasówki spełniają wszystkie wymagania wód I klasy czystości, a faktycznie mają lepszą jakość wód niż rzeka Widawka w Ruszczynie. Nie powodują one wzrostu „zasolenia” ani pogorszenia wskaźników wynikających z zawartości i zapotrzebowania w tlen wód rzeki Widawka powyżej ujścia do Warty (punkt 10).
- m) W porównaniu do stanu z roku 1998, łącznie w wodach rzeki Widawki i w jej dopływach na całej długości monitorowania stwierdzono w roku 1999:
- spadek średniego stężenia jonów siarczanowych z 62 do 49 $\text{mgSO}_4/\text{dm}^3$,
 - wzrost średniego stężenia chlorków z 22 do 30 mgCl/dm^3 .
- n) W tabeli 2 zestawiono porównawczo wyniki badań wody rzeki Widawki w przekrojach: Ruszczyn, Zarzecze i Szczerców. W 1999 roku badane wody spełniały wymogi I klasy czystości śródlądowych wód powierzchniowych [5].

4.2. Zmiany składu hydrochemicznego i cechy izotopowe wód podziemnych w rejonie wewnętrznego zwałowiska popiołów

Ilość czynnych w 1999 roku studni w rejonie zwałowiska wewnętrznego uległa istotnemu ograniczeniu. Obserwacją zmian składu hydrogeochemicznego objęto 9 studni w barierach: N, A-1, E i S, okonturowujących wkop odkrywki. Jako oznaczenia porównawcze traktowane są w zasadzie wyniki badań wykonanych w latach 1997-1998, a dla oznaczeń izotopowych również wyniki wcześniejsze.

W omawianym rejonie wykonano 9 oznaczeń makroskładu chemicznego oraz po 4 oznaczenia mikroskładników, środowiskowej koncentracji trytu i równowagi izotopowej siarki i tlenu w jonie siarczanowym wód.

Od 1993 roku na całym obszarze wewnętrznego zwałowania popiołów postępuje kontrolowana odbudowa zwierciadła wód podziemnych. Fakt ten ma wpływ na koncentrację trytu w wodach podziemnych, pompowanych przez kilka ostatnich czynnych studni w tym rejonie kopalni.

W opadzie atmosferycznym stężenie trytu utrzymuje się od 1983 roku na stałym poziomie $20 \pm 1,0$ TU. W 1996 roku średnie stężenie trytu w wodach podziemnych rejonu zwałowiska wewnętrznego wynosiło $10,2 \pm 0,8$ TU, natomiast w roku 1999 obniżyło się nieznacznie i wynosiło $9,1 \pm 0,5$ TU.

Powyższe relacje stężeń wskazują, że czas wymiany wód podziemnych (utożsamiany ze „średnim wiekiem” przepływu wody) w rejonie zwałowiska wewnętrznego uległ nieznaczniemu wydłużeniu z ok. 10 do ok. 13 lat (z błędem ± 1 rok).

Naturalną konsekwencją wzrostu efektywnej objętości zbiornika wód podziemnych jest zwiększenie czasu wymiany jego wód. Odbudowa zwierciadła następuje wyłącznie w wyniku infiltracji opadu atmosferycznego, bez istotnego udziału ascenzji wód głębszego krążenia.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że:

- Proces podziemnego utleniania minerałów siarczkowych i wzrostu koncentracji siarczanów w wodach pompowanych związany integralnie z odbudową zwierciadła wody we wschodniej części odkrywki „Bełchatów” uległ w 1999 roku znacznemu ograniczeniu. Maksymalne stężenie jonów siarczanowych w wodach studni 41 N wynosi aktualnie $117 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$ i jest około dwukrotnie większe od koncentracji siarczanów występującej w wodach tej części kopalni w roku 1993, tj. przed rozpoczęciem zwałowania popiołów w wyrobisku wewnętrznym.
- Średnie-ważone stężenie jonów siarczanowych w całkowitej objętości wód pompowanych z rejonu zwałowiska wewnętrznego w 1995 roku wynosiło ok. $150 \text{ mgSO}_4/\text{mg}^3$, a w roku 1999 spadło do ok. $30 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$. W latach 1993-1999 zawartość jonów chlorkowych w wodach pompowanych utrzymywała się na stałym poziomie i wynosiła ok. $11 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$.
- Średnie-ważone stężenie jonów siarczanowych w wodach czynnych studni z rejonu zwałowiska wewnętrznego jest aktualnie niższe od zawartości tego anionu w ogólnej objętości wód odprowadzanych kanałami K(1+2) i K(3+4). Wskazuje to, że koncentracja siarczanów w wodach podziemnych poza strefą zwałowiska wewnętrznego jest większa od wartości średniej w wodach pompowanych przez studnie zlokalizowane w jego sąsiedztwie.
- Na podstawie wyników oznaczeń bromu i strontu oraz składu izotopowego siarki i tlenu w jonie siarczanowym wód pompowanych w rejonie zwałowiska wewnętrznego nie stwierdzono zmian składu chemicznego wód wskazującego na kontakt ze składowanymi popiołami.

- Zawartość i obserwowana w latach 1996-1999 tendencja zmiany koncentracji trytu w wodach podziemnych zwałowiska wewnętrznego wskazuje, że odbudowa zwierciadła następuje w wyniku infiltracji wód opadu atmosferycznego. W kolejnych latach zwiększa się czas podziemnej wymiany (tzw. „wiek”) wód w omawianym rejonie.
- Cechy hydrochemiczne oraz zawartość mikrośladników w wodach czynnych ujęć zlokalizowanych w sąsiedztwie zwałowiska wewnętrznego – studnie 5 Nbis i 6 Nbis (ujęcie Piaski) oraz 89 N (ujęcie „Rogowiec”) – spełniają normy jakościowe, jakim powinna odpowiadać woda do picia [15] oraz odpowiadają klasie Ib „wody podziemne wysokiej jakości”, wg klasyfikacji zalecanej przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska (PIOŚ) [11] (tabela 3).

Tabela 3. Wynik badania wody z ujęć zlokalizowanych w sąsiedztwie zwałowiska wewnętrznego. Oznaczenia wykonano w okresie kwiecień-maj 1999 roku.

Wskaźnik	Miano	Studnie: 5 Nbis i 6 Nbis	Studnia 89 N	Dopuszczalna zawartość	
				w wodzie do picia wg MZ	w wodach podziemnych kl. I wg PIOŚ
Odczyn	pH	7,40	7,23	9,5	6,5-8,5
Subst. rozpuszczone	mg/l	398,7	474		800
Zasadowość	mval/l	3,50	3,60		
Twardość	mgCaCO ₃ /l	269,5	412,5	500	300-500
Wapń	mgCa/l	78,6	102,6		200
Magnez	mgMg/l	11,93	28,94	50	50
Sód	mgNa/l	5,9	6,4	200	200
Potas	mgK/l	1,14	1,28		10
Chlorki	mgCl/l	10,17	21,98	250	200
Siarczany	mgSO ₄ /l	51,0	74,0	250	200
Wodorowęglany	mgHCO ₃ /l	213,60	219,67		300-350
Bar	µgBa/l	75,2	119,1	700	100**
Brom	µgBr/l	119,0	195,0		
Chrom	µgCr/l	1,4	1,0	50/3*	10*
Cynk	µgZn/l	23,7	17,1	3000	5000
Miedź	µgCu/l	9,2	10,9	500	50
Nikiel	µgNi/l	3,4	1,2	20	30
Ołów	µgPb/l	4,5	1,9	10	50
Stront	µgSr/l	485,3	415,6		500
Tryt ³ H	TU	10,7	19,8		
δ ³⁴ S	‰CDT	-5,41	-10,27		
δ ¹⁸ O	‰SMOW	-5,11	-5,66		

* Dotyczy chromu Cr⁺⁶.

** W wodach klasy II zawartość baru może wynosić maksymalnie 1000 µgBa/l.

4.3. Wpływ składowiska popiołów Bagno Lubień na jakość wód pompowanych przez studnie północnych barier odwodnienia wglębnego

Próbki pobrano ze studni odwodnienia wglębnego i otworów obserwacyjnych KWB „Bełchatów” znajdujących się w strefie potencjalnego oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów Bagno Lubień. Zinterpretowano wyniki średniorocznych – od 1996 roku oraz chwilowych – do września 1999 roku oznaczeń podstawowego składu chemicznego wód, mikroskładu chemicznego, składu izotopowego siarczanów oraz oznaczenia trytu i zawartości radonu i radu.

Eksploatacja „mokrego” składowiska popiołów została w zasadzie zakończona, natomiast negatywne skutki infiltracji zanieczyszczeń chemicznych do wód podziemnych obserwuje się w dalszym ciągu. Hydrochemiczną miarą stopnia i zasięgu oddziaływania „mokrego” składowiska na wody podziemne jest wzrost koncentracji chlorków, siarczanów i bromu oraz charakterystyczna zmiana składu izotopowego siarczanów.

Na podstawie badań wykonanych w roku 1999 i w nawiązaniu do wyników badań z lat ubiegłych stwierdzono, że:

- Ładunek zanieczyszczeń chemicznych infiltrujących ze składowiska Bagno Lubień transportowany jest do wód pompowanych przez studnie północnych barier odwodnienia wglębnego.

W strefie oddziaływania składowiska zlokalizowane są studnie barier:

- N: od 111 do 138, z maksimum zanieczyszczeń w 127 N;
- A-1: od 53 do 69, z maksimum zanieczyszczeń w 61 A-1.

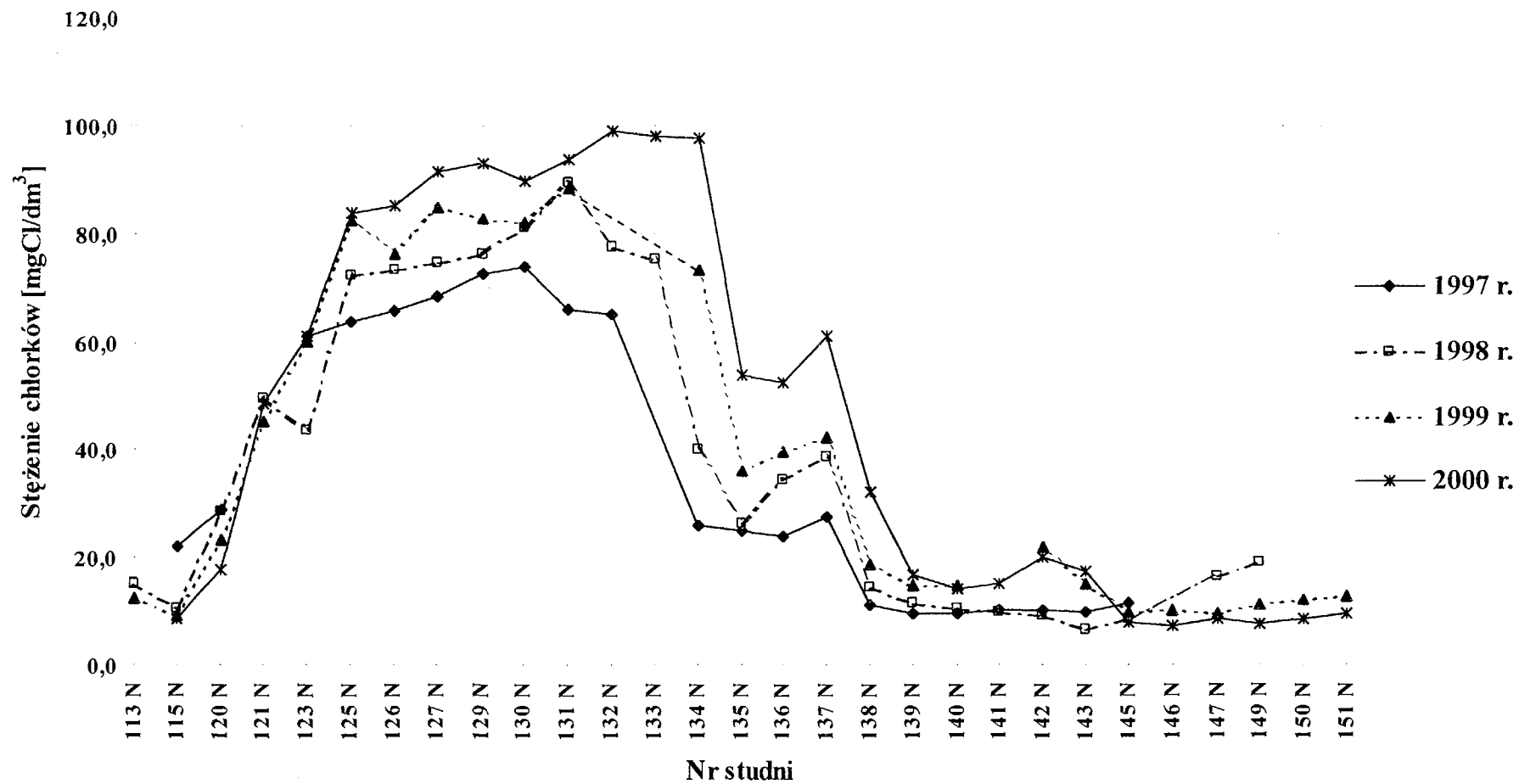
W 1999 roku w badanych studniach bariery A – zlokalizowanych na zachód od studni 91 A – nie stwierdzono obecności zanieczyszczeń infiltrujących z „mokrego” składowiska popiołów.

- Porównawczo, w latach 1997-1999 w wodach studni od 113 do 151 N eksploatowanych z wydajnością ok. $73 \pm 3 \text{ m}^3/\text{min}$ średnie-ważone stężenia chlorków i siarczanów nie uległy istotnej zmianie i wynosiły $37 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$ i $55 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$.

Naturalne tło wód podziemnych KWB „Bełchatów” wynosiło w 1983 roku $15,3 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$ i $31,8 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$.

W wyniku dopływu zanieczyszczeń chemicznych ze składowiska Bagno Lubień „zasolenie” wód pompowanych przez studnie bariery N wzrosło o ok. 80%. Wzrost „zasolenia” w wodach pompowanych przez studnie bariery A-1 jest porównywalny.

- Całkowity ładunek sumy jonów $\Sigma(\text{Cl} + \text{SO}_4)$ zrzucanych przez studnie bariery N, zlokalizowane na zachód od studni 113 N, w 1999 roku wynosił ok. 9,1 tony/dobę, z czego ok. 5,0 ton/dobę stanowił ładunek nadmiarowy, związany z infiltracją zanieczyszczeń chemicznych z „mokrego” składowiska popiołów.
- W strefie ekstremalnego oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów na wody pompowane przez studnie barier N i A-1 (rys.5) stężenie wskaźników „zasolenia” wynosi ok. $90 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$ i $140 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$, tj. średnio 4,6 razy przekracza wartość początkowego tła hydrochemicznego.
W latach 1997-1999 szybkość migracji czoła fali zanieczyszczeń chemicznych wzdłuż bariery N w kierunku zachodnim wynosiła ok. 200 m/rok.
- Strefa ekstremalnych stężeń wskaźników anionowego „zasolenia” wód nie pokrywa się z maksimum koncentracji bromu, które występuje w wodach studni 131 N. Ponieważ migracja bromu wyprzedza szybkość z jaką transportowane są ww. anionowe wskaźniki „zasolenia”, należy przewidywać, że nastąpi dalszy wzrost „zasolenia” wód, na zachód od studni 138 N.



Rys.5. Zmiany stężenia chlorków w wodach studni bariery N w latach 1997-2000.

- W wodach studni 131 N stężenie bromu w 1999 roku wynosiło 3,6 mg/dm³ i było ok. 19 razy większe od występującego w wodach studni zlokalizowanych poza strefą oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów (studnia 89 N – ujęcie „Rogowiec”). Potwierdza to celowość stosowania oznaczeń bromu do określania wielkości i zasięgu oddziaływania „mokrych” składowisk popiołów na wody podziemne.
- W tabeli 4 podano porównawczo dane dotyczące stężenia i ładunku „zasolenia” wód odprowadzanych z rejonów:
 - zwałowiska wewnętrznego (1),
 - bariery N (2),
 - wysadu solnego Dębina (3).

Tabela 4. Wartości stężenia i ładunku „zasolenia” wód w rowach odprowadzających wody z badanych rejonów KWB „Bełchatów” w latach 1993-1997 i w roku 1999.

Okres obserwacji	Średnie-ważone stężenie $\Sigma(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ [mg/dm ³]			Ładunek $\Sigma(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ [kg/dobę] przy Q = 1 m ³ /min		
	1	2	3	1	2	3
1993	71,90	92,70	142,90	103,56	133,49	205,78
1994	86,90	95,30	100,40	125,10	137,19	144,58
1995	162,70	83,88	91,80	234,33	120,78	132,19
1996	124,20	81,78	91,20	179,09	117,77	131,33
czerwiec 1997	65,70	59,76	87,50	94,51	86,05	126,00
styczeń-wrzesień 1999	39,90	87,73	108,90	57,26	126,33	157,00

Koncentracja wskaźników „zasolenia” w wodach z rejonów oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów i wysadu solnego Dębina jest aktualnie porównywalna i wynosi 100 ±10 mg $\Sigma(\text{Cl} + \text{SO}_4)$ /dm³. Uwzględniając rzeczywiste wydajności pompowania studni w obu ww. rejonach, ładunek „zasolenia” odprowadzany z rejonu „mokrego” składowiska popiołów jest 3,7 razy większy od ładunku „zasolenia” wód z rejonu bariery ochronnej wysadu solnego.

- Wody pompowane z otworu Pp 339 (piezometr podłożowy zlokalizowany w rejonie potencjalnego oddziaływania obu składowisk popiołów) spełniają wszystkie normatywne wymagania wody do picia i odpowiadają klasie Ib. Na podstawie wyników badań izotopowych stwierdzono, że:
 - Czas wymiany („wiek”) wód z ww. otworu wynosi powyżej 15 lat.
 - Nie występuje ascenzyjny dopływ wód głębszego krążenia.
 - Mineralizacja siarczanowa wynosi 25,7 mgSO₄/dm³, a cechy izotopowe siarki i tlenu w jonie siarczanowym są zbliżone do stwierdzonego w słodkich wodach skrzydła „SW” rejonu antykliny Łękińska. W obu przypadkach geneza mineralizacji siarczanowej związana jest z zawartością SO₂ w opadzie atmosferycznym.
 - Nieznacznie podwyższona zawartość strontu i bromu oraz obniżenie wartości wskaźnika Cl/Br może wskazywać na ograniczony kontakt z „mokrym” składowiskiem popiołów.

Wody z otworu Pp 339 nie posiadają żadnych cech wskazujących na ich aktualny kontakt ze strukturą wysadu solnego.

4.4. Skład hydrochemiczny i cechy izotopowe wód pompowanych na zachodnim przedpolu odwodnienia wglębnego

Poniżej omówiono wyniki oznaczenia podstawowego składu chemicznego wód pompowanych z zachodniego przedpola kopalni. Przeanalizowano i zinterpretowano wyniki oznaczeń mikroskładu chemicznego, wykonanych w wodach studni zlokalizowanych w obrębie zachodniego przekroju hydrochemicznego oraz wyniki badania cech izotopowych – trytu w wodzie i równowagi izotopowej siarki i tlenu w jonie siarczanowym wód tego rejonu.

Stwierdzono, że:

- Skład hydrochemiczny, w tym również wszystkie normatywne wskaźniki cech jakości wód pompowanych przez skrajne zachodnie studnie odwodnienia wglębnego w okresie od 1996 do września 1999 roku nie ulegały istotnej zmianie. Spełniają one wymagania, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze [7], a stężenia wybranych wskaźników jakościowych zawarte są w przedziałach zmienności tła hydrochemicznego naturalnych wód podziemnych w Polsce.
- Wody pompowane przez skrajne zachodnie studnie odwodnienia wglębnego w 1999 roku wg klasyfikacji hydrochemicznych zalicza się do:
 - trójjonowych typu Ca-Mg-HCO₃;
 - słodkich; sucha pozostałość M=428 ±35 mg/dm³;
 - słabo zasadowych; odczyn pH=7,4 ±0,1;
 - średnio twardych; Σ(Ca + Mg) zawiera się w przedziale od 4,2 do 5,2 mval/dm³.Stężenie anionowych wskaźników „zasolenia” wód wynosi 14 ±10 mgCl/dm³ i 23 ±10 mgSO₄/dm³.
Ekstremalna koncentracja jonów SO₄ występuje w wodach nadłożowych ze studni bariery H: 119 i 123 i wynosi 105 ±15 mgSO₄/dm³.
Geogenne stężenia metali ciężkich: Cr, Cd, Cu, Ni i Pb są znacznie niższe od normatywnie dopuszczalnych.
- Równoleżnikowo skrajne bariery zewnętrzne N i S przejmują wody o krótkim czasie podziemnego przepływu infiltrujące współcześnie z rejonów oddalonych o mniej niż 8 km na północ od bariery N i na południe od bariery S.
- Aktualnie, w żadnej ze skrajnie zachodnich studni odwodnienia wglębnego nie stwierdza się oddziaływania wysadu Dębina. Stwierdza się natomiast podwyższone stężenia wskaźników „zasolenia” w kilku otworach obserwacyjnych zlokalizowanych pomiędzy wysadem solnym i „mokrym” składowiskiem popiołów. Geneza „zasolenia” wód w piezometrach wewnętrznych Pw: 356, 370, 371, 376 i 401 może mieć związek z obu ww. źródłami zagrożenia. Maksymalne stężenie chlorków (ok. 240 mg/dm³) występuje w otworze Pw 371/III. W piezometrze tym, jako jedynym z całego zbioru ww. otworów, ekstremalna koncentracja chlorków połączona jest z podwyższoną do 280 mgSO₄/dm³ zawartością siarczanów. Na podstawie wykonanych w 1999 roku oznaczeń makroskładu chemicznego wód nie można jednoznacznie określić przyczyny wzrostu takiego „zasolenia”. W dalszych badaniach należy rozstrzygnąć co stanowi źródło omówionego efektu, rozpatrując alternatywę:
 - zasolenie związane jest z technologią wiercenia otworówlub
 - w północno-zachodniej części przedpola w poziomie mezozoicznym wystąpiły wody mające związek ze strukturą wysadu solnego.
- Studnie 84 S-1 i 86 S-1 zlokalizowane są w strefie potencjalnego mieszania się wód mających kontakt hydrauliczny z salinarnymi strukturami triasu oraz wód występujących

bezpośrednio nad czapą gipsową wysadu solnego. W wodach ww. studni nie stwierdzono cech wskazujących na kontakt ze strukturą wysadu solnego. Występuje natomiast duże podobieństwo cech hydrochemicznych i izotopowych wód ww. studni z wodami studni 106 S (pomimo różnic w głębokości posadowienia spągowych części filtrów w tych studniach).

Podwyższona zawartość jonów siarczanowych oraz wapnia, strontu i baru wskazuje, że wody ze studni S-1: 84 i 86 kontaktują się ze skałami węglanowymi z domieszką osadów ilastych.

4.5. Badania hydrochemiczne i izotopowe wód podziemnych w rejonie bariery ochronnej wysadu solnego Dębina

Barierę ochronną wysadu solnego w 1999 roku stanowiło 41 studni (SD) i 91 otworów obserwacyjnych ujmujących wody mezozoiczne występujące na różnych głębokościach aż do 380 m ppt. Analiza składu chemicznego wód pompowanych i pobieranych z otworów obserwacyjnych i odprowadzalników powierzchniowych pozwoliła stwierdzić, że:

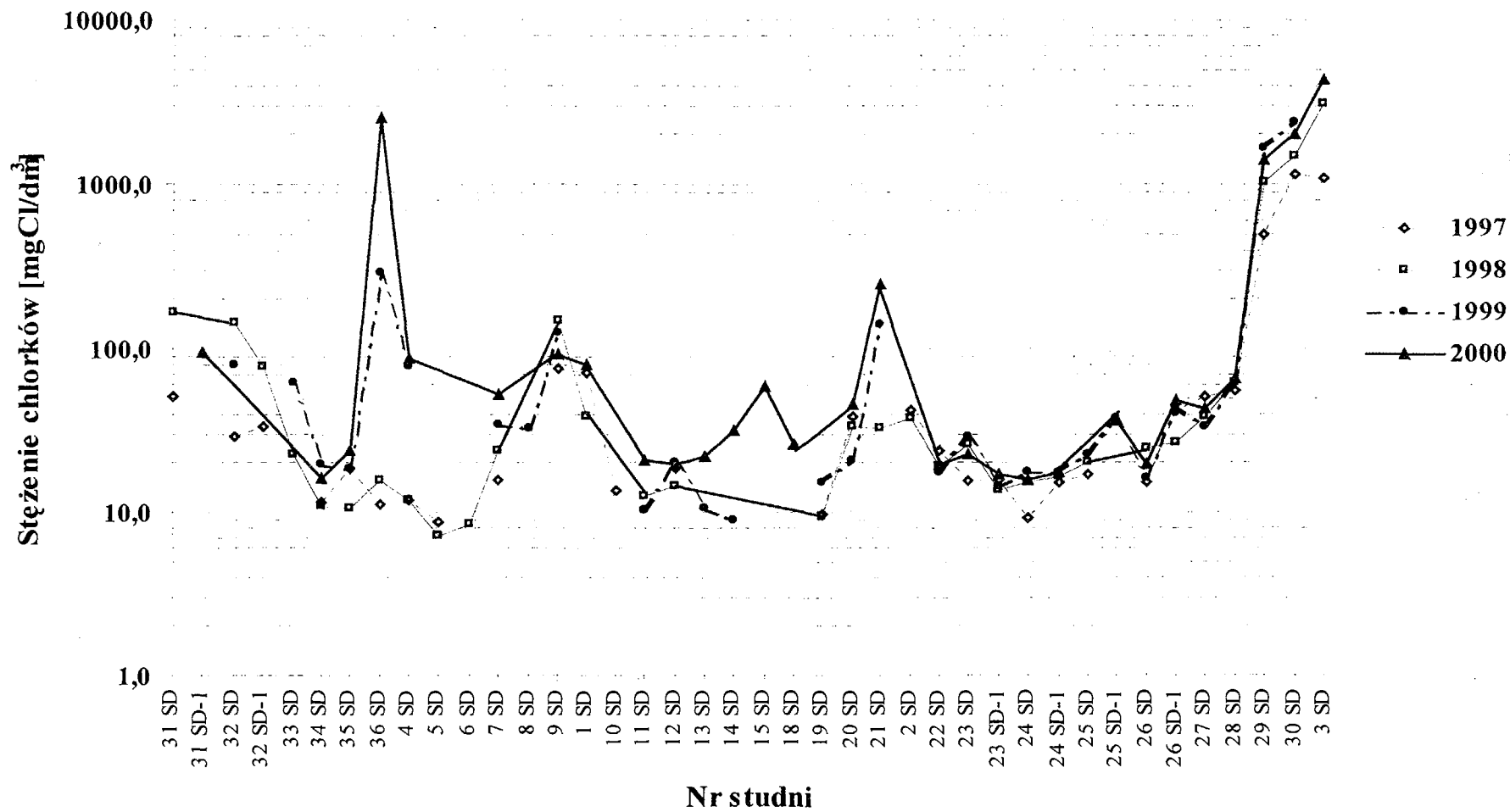
- W objętym obserwacją okresie – styczeń-wrzesień 1999 roku – bariera ochronna eksploatowana była ze średnią wydajnością $15,7 \pm 0,8 \text{ m}^3/\text{min}$.
- Jakość wód pompowanych, odprowadzanych z rejonu bariery rowem zbiorczym „ZB” nie odbiega od typowego geogenego składu ogółu wód odprowadzanych przez cały system odwodnienia wgłębnego KWB „Bełchatów”.

W stosunku do dwóch poprzedzających (rocznych) okresów porównawczych zasolenie wód odprowadzanych rowem zbiorczym „ZB” uległo w 1999 roku zwiększeniu o ok. 42%.

- Wraz z obniżeniem zwierciadła wody poziomu mezozoicznego z +70,0 do +50,0 m npm w wydzielonych częściach bariery występuje dodatni gradient zmiany wskaźników zasolenia wód pompowanych [$\text{mg}/\text{dm}^3/10 \text{ m}$ depresji]:
 - W części odprowadzania wód rowem zachodnim – RZ
 - chlorki – $12,6 \text{ [mg}/\text{dm}^3]$,
 - siarczany – $11,3 \text{ [mg}/\text{dm}^3]$,
 - $\Delta M \Sigma(\text{Cl} + \text{SO}_4) = 265 \pm 15 \text{ [kg}/\text{dobę}/10 \text{ m}$ depresji] przy $Q = 7,7 \pm 0,5 \text{ [m}^3/\text{min}]$;
przewiduje się, że poniżej rzędnej zwierciadła wody +50,0 m npm gradient stężenia (chlorków + siarczanów) wzrośnie do $44 \text{ mg (Cl+SO}_4)/10 \text{ m}$ depresji.
 - W części odprowadzania wód rowem wschodnim – RW
 - chlorki – $4,6 \text{ [mg}/\text{dm}^3]$,
 - siarczany – $4,8 \text{ [mg}/\text{dm}^3]$,
 - $\Delta M \Sigma(\text{Cl} + \text{SO}_4) = 100 \pm 8 \text{ [kg}/\text{dobę}/10 \text{ m}$ depresji] przy $Q = 7,4 \pm 0,5 \text{ [m}^3/\text{min}]$.
- W 1999 roku średnie-ważone stężenie wskaźników zasolenia wód pompowanych – z wyłączeniem studni zlokalizowanych w narożu „SW” – wynosiło:
 - $60 \pm 10 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$,
 - ok. $50 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$,
 - substancje rozpuszczone – $530 \pm 30 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

Średnie stężenie jonów chlorkowych w wodach odprowadzanych przez ogół pracujących studni bariery pokazano na rys.6.

- Strefa występowania wód o zwiększonej zawartości chlorków i siarczanów w 1999 roku uległa nieznacznemu rozszerzeniu poza obszar naroża „SW”. W związku z wyłączeniem z eksploatacji studni 3 SD oraz zwiększeniem wydajności w studniach SD: 27 i 28 stwier-



Rys.6. Bariera ochronna wysadu solnego Dębina - stężenie chlorków w wodach pompowanych w latach 1997-1999.

dzono wzrost zasolenia w ww. studniach. W roku 1999 zaobserwowano wzrastające zasolenie w całej zachodniej części bariery z maksimum w studniach SD: 36 i 4 (obrót „w prawo”).

- Ekstremum zasolenia występuje, od momentu uruchomienia bariery, w wodach pompowanych przez studnię 30 SD. Według stanu z maja 1999 roku zasolenie wód ww. studni wynosiło:
 - 2730 mgCl/dm³,
 - 1140 mgSO₄/dm³,
 - sucha pozostałość – 4450 mg/dm³.
- Decydujący wpływ na wzrost ładunku zasolenia wód w rowie zachodnim (punkt RZ-2) i zbiorczym (punkt ZB) ma wydajność, z jaką pompowane są studnie SD: 27-30 oraz 36 i 4. Zmniejszenie ładunku zasolenia w wodach rowu zbiorczego można osiągnąć przez zwiększenie wydajności pompowania studni zlokalizowanych w części „S” bariery.
- Studnie bariery SD nr 29 i 30, pracujące we wrześniu 1999 roku z wydajnością $\Sigma Q=0,20$ m³/min, wprowadzają do rowu zbiorczego ładunek $\Sigma(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ ok. 800 kg/dobę. Studnie naraża „SW”, pompując 1,1 % ogółu wód odprowadzanych rowem zbiorczym, zrzucają ok. 26% całkowitego ładunku zasolenia. Konsekwencją zasolenia wód w studniach SD: 36 i 4 jest wzrost ładunku $\Sigma(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ w wydzielonej części „WN”. W porównywanych stanach chwilowych – lipiec 1998 roku i wrzesień 1999 roku, przy stałej wydajności $Q=3,4$ m³/min, nastąpił wzrost ładunku odprowadzanego w tej części bariery z 17 do 43%.
- Strefy maksymalnego narażenia na zasolenie wód pompowanych przez studnie bariery ochronnej związane są z występowaniem w poziomie mezozoicznym wód typu Na-Cl, w których w 1999 roku sucha pozostałość wynosiła średnio 5500 mg/dm³, a stężenie Cl – ponad 3600 mgCl/dm³. Strefy wód zasolonych występują w rejonie otworów usytuowanych na naturalnym kierunku (SE-NW) przepływu wód podziemnych omywających wysad lub na prostopadłym do niego kierunku pęknięcia czapy gipsowej. W ok. 10 otworach stwierdzono wody, w których stężenie chlorków przekracza 5,5 gCl/dm³.
- W dwóch otworach przewiduje się dalszy wzrost zasolenia wód w wyniku intensyfikacji dopływu wertykalnego z głębszych poziomów warstwy mezozoicznej. Podstawowym zadaniem bariery ochronnej było ograniczenie przepływu wód w kierunkach poprzecznych do osi wysadu oraz obniżenie zwierciadła na obwodzie bariery poniżej rzędnej na zachodnim przedpolu kopalni. Bariera ochronna spełnia ww. wymagania, ale wraz z postępującym obniżaniem zwierciadła w poziomie mezozoicznym na obwodzie bariery wzrasta systematycznie dopływ wód zasolonych z głębokości poniżej 300 m ppt.
- W wodach typu Na-Cl podwyższona jest koncentracja strontu (Sr), baru (Ba) i bromu (Br). Wymienione mikroskładniki są geochemicznie związane z osadami czapy gipsowo-anhydrytowej i wskazują, że do 1999 roku nie następowało bezpośrednie ługowanie halitu.

5. PODSUMOWANIE

Cechą wyróżniającą wody podziemne, pompowane przez system odwodnienia w głębinie KWB „Bełchatów” w rejonach bariery ochronnej wysadu solnego „Dębina” oraz oddziaływania „suchego” i „mokrego” składowiska popiołów z Elektrowni „Bełchatów” jest ich

„zasolenie” spowodowane nadmiernym stężeniem jonów chlorkowych i siarczanowych w stosunku do naturalnych, typowych wód podziemnych występujących na przeważającym obszarze górniczym kopalni.

Rozszerzenie badań hydrochemicznych o wybrane metody izotopowe i oznaczenia mikroskładników umożliwiło rozróżnienie genezy „zasolenia”. Wykazało, że zbieżny efekt „zasolenia” wód podziemnych wywołują każdorazowo odmiennie przyczyny.

Wody mające kontakt ze strukturą wysadu solnego charakteryzują się dużą zawartością chlorków oraz wyższym stężeniem jonów siarczanowych – efekt związany z ługowaniem czapy anhydrytowo-gipsowej. Stężenie Br i Sr w wodach bariery ochronnej wysadu Dębina jest zbliżone do typowego dla wód poziomu mezozoicznego.

Krystalizacja halitu przebiega bez wzbogacenia w inne halogenki i metale z grupy ziem alkalicznych. Skład stabilnych izotopów wody δD i $\delta^{18}O$ oraz stężenie współczesnego radiowęglu C-14 w rejonie wysadu solnego wskazują, że w potencjalnym rozmywaniu jego struktury uczestniczyć będą wody infiltracyjne uformowane w warunkach klimatu współczesnego. Podwyższone stężenie trytu wskazuje, że zawierają one komponentę wód młodszych niż 50 lat.

Skład izotopowy siarki i tlenu w jonie siarczanowym wód w rejonie wysadu solnego jest analogiczny do siarczanów gipsu, obudowującego pień halitu, a uformowanych w okresie permskim. Skład izotopowy siarczanów w „niezasolonych” wodach poziomu mezozoicznego jest wyraźnie odmienny, charakterystyczny dla siarczanów we współczesnym opadzie atmosferycznym. Na współczesne zasilanie infiltracyjne poziomu mezozoicznego wskazuje również pewna niewielka zawartość trytu 3H , związanego z nadziemnymi próbami termojądrowymi.

Wody mające bezpośredni kontakt ze składowanymi „na mokro” popiołami wyróżniają się m.in. wysokim stężeniem jonów siarczanowych i bromu oraz podwyższoną zawartością wapnia. Skład izotopowy siarczanów ługowanych z popiołów zdeterminowany jest jako wynik reakcji spalania w powietrzu atmosferycznym siarki zawartej w węglu.

W rejonie „suchego” zwałowiska popiołów działa kilkanaście studni zapewniających kontrolowaną odbudowę zwierciadła wody, po zakończeniu intensywnego odwadniania wykopu i wyeksploatowaniu wschodniej części złoża.

Lokalnie, w rejonie „suchego” zwałowiska wewnętrznego, stężenie siarczanów wielokrotnie przekracza poziom początkowego „tła hydrochemicznego”. Wyniki oznaczeń bromu i składu izotopowego siarczanów wód wskazują, że geneza zwiększonego zanieczyszczenia wód w rejonie obu składowisk jest aktualnie odmienna. Wody dopływające z przedpola kopalni, stopniowo odbudowujące zwierciadło w rejonie wewnętrznego zwałowiska popiołów, nie zawierają nadmiarowego stężenia bromu dobrze ługowanego z popiołów zewnętrznego składowiska „mokrego”.

Skład izotopowy siarczanów w wodach z rejonu zwałowiska wewnętrznego wskazuje, że ich geneza związana jest z utlenianiem minerałów siarczkowych bez udziału tlenu atmosferycznego. Reakcje podziemnego utleniania pirytów (ew. również sfalerytu lub galenitu) nie osiągają stanu równowagi chemicznej, co powoduje, że rozrzut wyników oznaczeń składu izotopowego siarczanów wód w rejonie zwałowiska wewnętrznego jest większy niż w strefie oddziaływania „mokrego” składowiska popiołów.

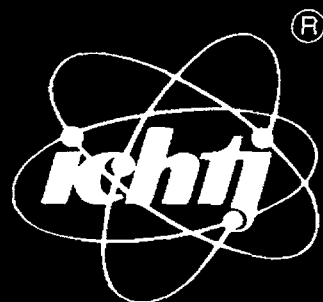
Efekty procesów zachodzących w strefie aeracji oraz związanych z ługowaniem rozpuszczalnych minerałów popiołu mogą się w przyszłości sumować.

Warunkiem niezbędnym do prawidłowej interpretacji przyczyn i prognozowania rozwoju zjawiska „zasolenia” wód podziemnych w różnych rejonach kopalni jest komplementarne wykorzystanie metod izotopowych i hydrogeochemicznych.

LITERATURA

- [1]. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31 stycznia 1980 roku, Dz. U. z 1994 r. nr 49, poz. 196.
- [2]. Prawo wodne z 24 października 1974 roku, Dz. U. z 1980 r. nr 38, poz. 230.
- [3]. Prawo geologiczne i górnicze z 4 lutego 1994 roku, Dz. U. z 1994 r. nr 27, poz. 96.
- [4]. Rozporządzenie Rady Ministrów z 27 grudnia 1993 roku w sprawie opłat za szczególne korzystanie z wód i urządzeń wodnych, Dz. U. z 1993 r. nr 133, poz. 673.
- [5]. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi, Dz. U. z 1991 r. nr 116, poz. 503.
- [6]. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł i ujęć wody, Dz. U. z 1991 r. nr 116, poz. 504.
- [7]. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 września 2000 roku w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej, Dz. U. z 2000 r. nr 82, poz. 937.
- [8]. Zalecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych PIOŚ – 1991 r.
- [9]. Dojlido J., Świetlik R.: Analiza śladowa wody. Problemy jakości analizy śladowej w badaniach środowiska przyrodniczego. Wydawnictwo Edukacyjne Z. Dobkowskiej, Warszawa 1998.
- [10]. Dojlido J.: Instrumentalne metody badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1987.
- [11]. Macioszczyk A.: Hydrogeochemia. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1987.
- [12]. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa 1993.
- [13]. International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe Budapest'92, 12-16.10.1992.
- [14]. *ibid.* Warsaw'96, 10-13.09.1996.
- [15]. *ibid.* Prague'2000, 12-14.09.2000.
- [16]. Isotope hydrology, Proceedings of the Symposium IAEA, Vienna 14-18.11.1967.
- [17]. *ibid.*, Vienna 09-13.03.1970.
- [18]. *ibid.*, Neuherberg 19-23.06.1978.
- [19]. *ibid.*, Vienna 12-16.09.1983.
- [20]. Isotope Techniques in Ground Water Hydrology, Vienna 11-15.03.1974.
- [21]. Isotope Techniques in Water Resources Development, Vienna 11-15.03.1991.
- [22]. *ibid.*, Vienna 03.03-03.04.1987.
- [23]. *ibid.*, Vienna 10-14.05.1999.
- [24]. Isotope Workshop of European Society for Isotope Research, Kraków 01-06.06.2000.
- [25]. Krotowicz J.: Tryt w badaniach hydrogeologicznych. Warszawa 1968.
- [26]. Zuber A.: Handbook on environmental isotope geochemistry. Vol. I, part b. Amsterdam 1983.
- [27]. Różański K., Gonfiantini R., Araguas-Araguas L.: Tritium in the global atmosphere: Distribution patterns and recent trends. Phys. G.: Nuclear Part. Phys., 17, 523-536 (1991).
- [28]. Padzik A., Sołtyk W.: Aparatura i metodyka elektrolitycznego wzbogacania wody w tryt. Nukleonika, 14(1), 87-95 (1969).

- [29]. Zuber A.: Zeszyty Akademii Górniczo-Hutniczej, Seria „Matematyka – Fizyka – Chemia”, 302, Kraków 1971.



**INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
INSTITUTE OF NUCLEAR
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

Dorodna 16, 03-195 Warszawa, Poland
tel.: (+48 22) 811 06 56, fax: (+48 22) 811 15 32,
e-mail: sekdyrn@orange.ichtj.waw.pl