

*Izabela Anna Talalaj*

**ZAGROŻENIE WÓD GRUNTOWYCH  
W WYNIKU EKSPLOATACJI SKŁADOWISK ODPA-  
DÓW**

---

***THREAT OF GROUNDWATER  
AS A RESULT OF LANDFILL EKSPLOITATION***

**Streszczenie**

W pracy omówiono jakość wód gruntowych w pobliżu eksploatowanego składowiska odpadów innych niż obojętne i niebezpieczne. Badania jakości wód prowadzono na przestrzeni 4 lat w 3-4 miesięcznych odstępach czasowych. Punkty kontrolne zlokalizowano w odległościach odpowiadających różnym czasom przepływu wody, tj. od 30 do 800 m od granic składowiska. Otrzymane wyniki poddano szczegółowej analizie statystycznej, w której oceniono m.in. zmienność stężeń badanych wskaźników na przestrzeni czasu oraz zmiany jakości wody w punktach badawczych leżących na dopływie i odpływie wód gruntowych ze składowiska. Uzyskane rezultaty pozwoliły na ocenę zagrożenia jakości wód podziemnych w wyniku eksploatacji składowiska odpadów.

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów, jakość wód podziemnych, zanieczyszczenie wód podziemnych

***Summary***

*In paper a groundwater quality near to municipality landfill was characterised. Groundwater analyses were carried on for 4 years in 3-4 months periods. Observation points around the municipal landfill site were localised in different distance to obtain different water flow times, i.e. since 30 to 800 m from landfill's border. Obtained results were put through statistical analyses in which the groundwater quality differentiation in different seasons as well as quality in sampling points from piezometers localised on groundwater inflow and outflow were assessed. Investigations carried out have enabled to evaluation of water quality changes in the vicinity of analysed landfill.*

## WSTĘP

Eksploatacja składowisk odpadów wiąże się z możliwością potencjalnego zagrożenia szeregu elementów środowiska, w tym szczególnie wód gruntowych. Stosunkowo płytkie zaleganie warstw wodonośnych stwarza warunki do penetracji w głąb zanieczyszczeń z różnego rodzaju powierzchniowego składowania odpadów. Narażone są one na infiltrację silnie zanieczyszczonych wód pochodzących np. z nieuszczelnionych bądź nieprawidłowo uszczelnionych składowisk, czy też ze spływów powierzchniowych po bryle odpadów. Zagrożenie jakości wód podziemnych może mieć różny wymiar w zależności zarówno od technicznego wyposażenia składowiska jak też sposobu jego eksploatacji. Istotny wpływ ma również rodzaj środowiska gruntowego oraz warunki hydrologiczne w rejonie danego obiektu [Appelo, Postma 1994; Pujori, Deshpande 2005; Rowe, Booker 2000].

Zanieczyszczenia pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych poruszają się zgodnie z kierunkiem ruchu wód. W pierwszej fazie, w górnej części poziomu wodonośnego wytwarza się strefa wód zanieczyszczonych przez ognisko zanieczyszczeń. Zasięg tej strefy zależy od ilości i rodzaju zanieczyszczeń dopływających do wód gruntowych, warunków przepływu tych wód oraz czasu eksploatacji składowiska. Rozmiary zanieczyszczeń są ograniczone przez procesy samooczyszczania.

Celem artykułu jest ocena zagrożenia jakości wód podziemnych w wyniku eksploatacji składowiska odpadów.

## OBSZAR I METODY BADAŃ

Jako obiekt badań wybrano składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w południowo-wschodniej części woj. podlaskiego. Obszar składowiska zajmuje powierzchnię około 35 ha (rys. 1). Na jego terenie znajdują się trzy pola składowe, w tym jedno - na którym zakończono już eksploatację - uszczelnione 50 cm warstwą gliny oraz dwa pozostałe uszczelnione folią z wysokozagęszczonego polietylenu (PEHD). Na folii ułożono sieć drenarską ujmującą odcieki składowiskowe. Przechwycone odcieki kierowane są do bezodpływowego zbiornika i wywożone do punktu zlewnego nieczystości płynnych, skąd trafiają na oczyszczalnię ścieków. U podnóża skarpy składowiska wykonano rowy opaskowe, których zadaniem jest zbieranie spływów z powierzchni bryły odpadów. Zanieczyszczenia z rowów opaskowych kierowane są do bezodpływowego zbiornika odcieków.

Składowisko funkcjonuje od 25 lat. Szacuje się, że do tej pory zgromadzono na nim około 1 270 Mg odpadów.



Zródło: opracowanie własne na podstawie www.zoomi.pl

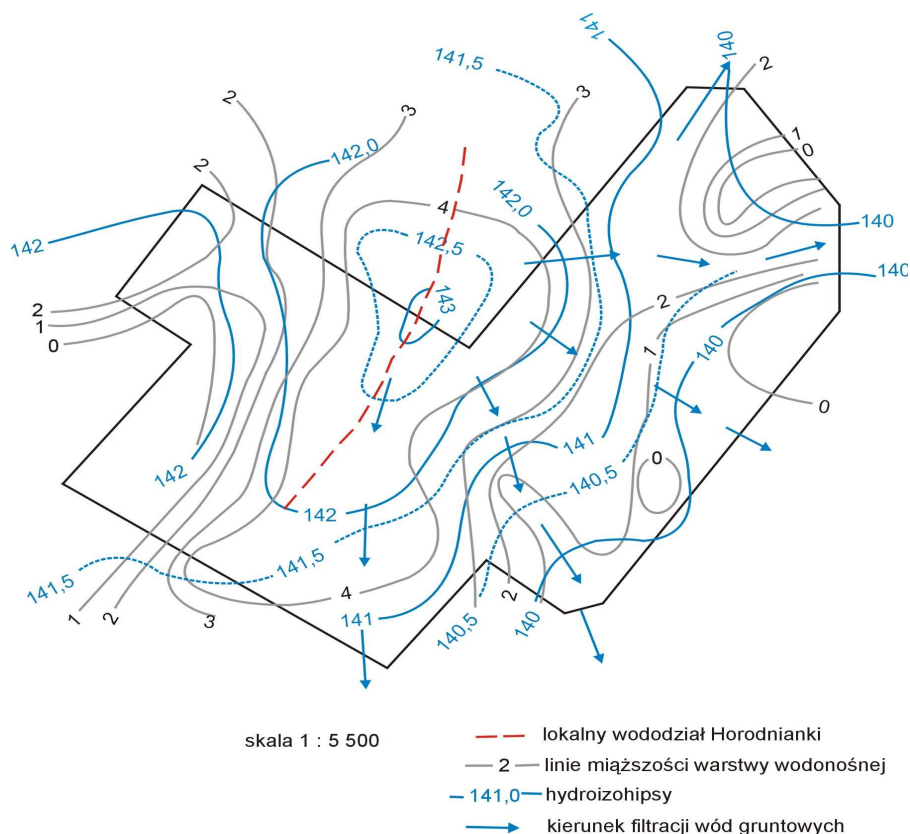
**Rysunek 1.** Analizowane składowisko odpadów  
**Figure 1.** The view of analysed municipal landfill

Budowa geologiczna oraz warunki hydrologiczne obszaru przylegającego do składowiska zostały rozpoznane siecią otworów badawczych. W wyniku wykonanych prac stwierdzono, że na terenie przylegającym do składowiska pierwszą warstwę wodonośną stanowią piaski o bardzo zmiennej miąższości ( $0,7 \div 12,0$  m), dość jednorodnej granulacji ( $\phi=0,05 \div 0,20$ ) i niskim współczynnikiem filtracji wynoszącym w granicach  $k=10^{-4} \div 10^{-5}$  m/s). Warunki te pozwalają je uznać za słaboprzepuszczalne.

Swobodne zwierciadło wód gruntowych oddzielone od powierzchni strefą aeracji układa się poza terenem składowiska na głębokościach od 0,95 do 5,4 m. Składowisko podmywane jest napływającymi od strony zachodniej wodami gruntowymi, które spod składowiska spływają w kierunku północno-wschodnim, południowo-wschodnim i wschodnim (rys. 2).

Oceną jakości wód objęto I poziom wodonośny. Punkty obserwacyjne zlokalizowano w trzech strefach, dla trzech różnych czasów przepływu wód [Szczepańska, Kmiecik 1998; Dennis, Helsel 2005]. Pierwszą strefę zlokalizowano w odległości nie większej niż 200-dniowy czas przepływu wody (punkty P2 i P5), drugą – w odległości odpowiadającej 2-letniemu czasowi przepływu wody (punkt P3) oraz trzecią – w odległości odpowiadającej ponad 2-letniemu czasowi przepływu wód (punkty P1, P4, P7). Jako punkt kontrolny przyjęto

otwór badawczy P6 leżący od strony dopływu wód podziemnych. Badania prowadzono przez okres czterech lat.



Źródło: opracowanie własne

**Rysunek 2.** Układ hydroizohips przy analizowanym składowisku odpadów  
**Figure 2.** Hydroisohips setting near to analysed landfill

W celu oceny istotności różnic pomiędzy dwiema populacjami: „woda zanieczyszczona” oraz „tło” wykonano test U Manna-Whitneya (nieparametryczny odpowiednik testu t-Studenta). Zmienność wskaźników na przestrzeni czasu oceniono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji.

## DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzony test U Manna-Whitneya wskazał, iż istotne różnice w jakości wody przyjętej jako „tło” (piezometr P6) oraz wody odpływającej („wo-

dy zanieczyszczone”, tj. piezometry P2, P3, P5) dotyczą tylko wybranych wskaźników (tab. 1).

**Tabela 1.** Wyniki testu U Manna-Whitneya dla wody przyjętej jako „tło” oraz odpływającej ze składowiska („woda zanieczyszczona”)

**Table 1.** Results from Mann-Whitney’s U-test for water considered as “background” and that flowing out of the waste dump (“contaminated water”)

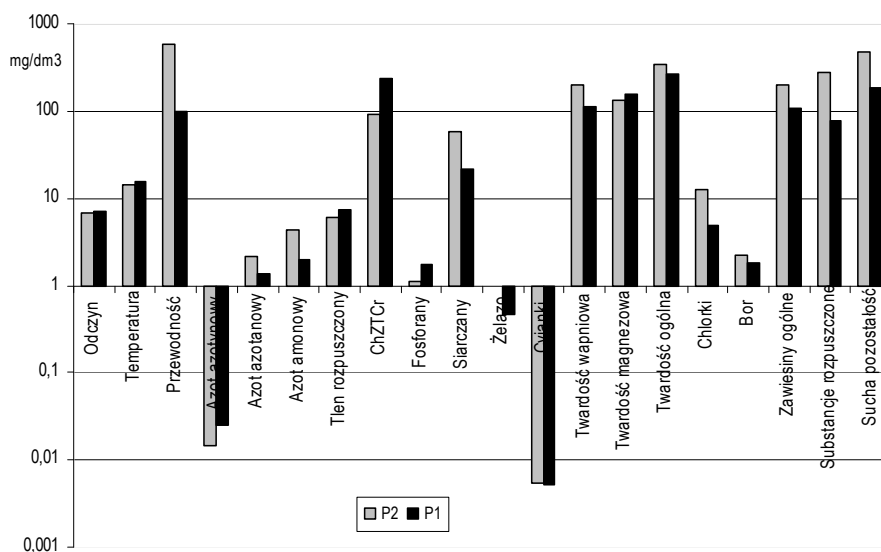
Wskaźnik	Suma rang „woda zanieczyszczona”	Suma rang „tło”	Wartość testu U	N ważnych „woda zanieczyszczona”	N ważnych „tło”	poziom p
Odczyn	577,5	162,5	118,5	29	9	0,685
Temperatura	580,5	160,5	115,5	29	9	0,612
Przewodność elektrolit.	651,5	89,5	44,5	29	9	0,002
Azot azotynowy(III)	568,0	173,0	128,0	29	9	0,946
Azot azotanowy(V)	550,5	190,5	115,5	29	9	0,612
Azot amonowy	616,5	124,5	79,5	29	9	0,079
Tlen rozpuszczony	469,5	196,5	91,5	29	9	0,278
ChZT	602,5	138,5	93,5	29	9	0,207
Ortofosforany	549,0	192,0	114,0	29	9	0,588
Siarczany(VI)	620,5	120,0	75,5	29	9	0,058
Żelazo	539,0	202,0	104,0	29	9	0,378
Cyjanki	573,5	167,5	122,5	29	9	0,787
Twardość ogólna	571,0	170,0	125,0	29	9	0,866
Chlorki	617,0	124,0	79,0	29	9	0,079
Bor	580,0	161,0	116,0	29	9	0,636
Substancje rozpuszczone	625,5	115,5	70,5	29	9	0,037

Źródło: opracowanie własne

Wyniki testu wskazują, iż istotne pogorszenie jakości wody dotyczy takich zmiennych jak: przewodność elektrolityczna ( $p=0,002$ ), substancje rozpuszczone ( $p=0,037$ ), siarczany(VI) ( $p=0,058$ ) oraz azot amonowy ( $p=0,079$ ) i chlorki ( $p=0,079$ ). Oznacza to, że funkcjonowanie składowiska powoduje zanieczyszczenie wód gruntowych, które objawia się przede wszystkim zwiększoną wartością przewodności i substancji rozpuszczonych oraz podwyższonym stężeniem azotu amonowego i chlorków. Najwyższe istotne różnice dotyczą wartości przewodności elektrolitycznej, która w wodach przyjętych jako tło osiąga średnią wartość  $237,78 \mu\text{S}/\text{cm}$  podczas gdy w wodach odpływających  $522,76 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Świadczy to m.in. o zawartości w badanych wodach produktów końcowej mineralizacji odpadów. Wartość pozostałych wskaźników kształtuje się następująco: substancje rozpuszczone  $144,44 \text{ mg}/\text{dm}^3$  w wodach przyjętych jako tło

i 403,79 mg/dm<sup>3</sup> w wodach odpływających, azot amonowy odpowiednio 1,91 mg/dm<sup>3</sup> i 3,38 mg/dm<sup>3</sup>, chlorki 6,22 mg/dm<sup>3</sup> i 8,05 mg/dm<sup>3</sup>, siarczany 60,89 mg/dm<sup>3</sup> i 53,17 mg/dm<sup>3</sup>. Niższe stężenie siarczanów w wodach odpływających ze składowiska jest najprawdopodobniej wynikiem intensywnego rozkładu substancji organicznych, w których zużywany jest tlen. Stąd dominacja w tych wodach form beztlenowych, takich jak np. azot amonowy. Najmniejsze wahania jakości wody dotyczyły odczynu oraz twardości ogólnej.

W miarę oddalania się od składowiska, zgodnie z kierunkiem przepływu wody gruntowej, wartości większości składników w wodzie gruntowej ulegają obniżeniu. Na drodze przepływu od piezometru P2 do piezometru P1 (oddalonego od składowiska o 260 m) spadek stężenia boru wyniósł 18%, żelaza 52% a azotu amonowego 54% (rys. 3). Obserwowane zmiany ilościowe świadczą o zachodzących w wodzie procesach samooczyszczania. Procesy te widoczne są również dla pozostałych wskaźników zanieczyszczeń: na odcinku P2-P1 następuje spadek przewodności elektrolitycznej (83%), siarczanów (63%), chlorków (60%), twardości ogólnej (60%), cyjanków (7%) oraz wzrost zawartości tlenu rozpuszczonego (23%), stężenia azotu azotanowegoIII (10%), azotu azotanowegoV (40%), fosforanów (60%).



Źródło: opracowanie własne

**Rysunek 3.** Średnie wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń w wodzie z piezometru P1 (zlokalizowanego 260 m od składowiska) oraz P2 (przy składowisku)

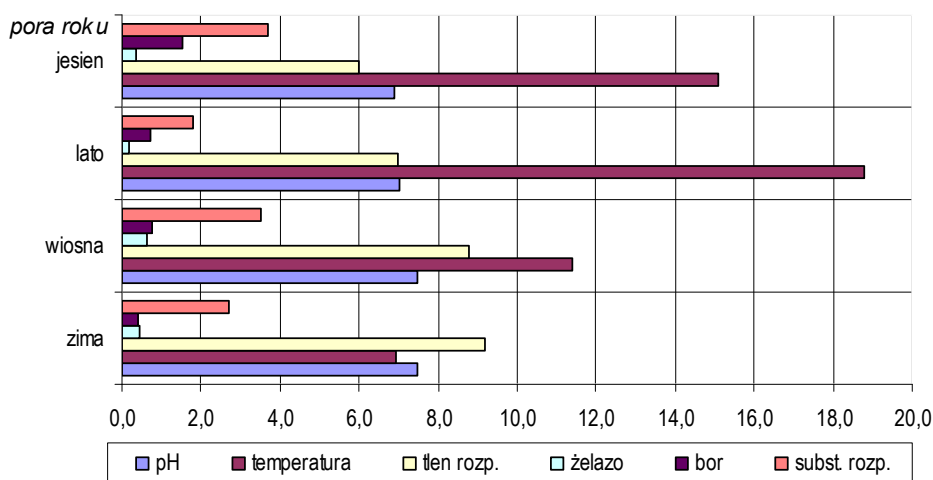
**Figure 3.** Mean value of some pollution indicators in water from piezometer P1 (localized 260 m from landfill) and piezometer P2 (near the landfill)

Do badań zmienności jakości wody w czasie przyjęto punkty leżące w drugiej i trzeciej strefie przepływu wód, tj. w odległości odpowiadającej co najmniej dwuletniemu czasowi przepływu wody. Analiza wielkości poszczególnych wskaźników na przestrzeni czasu wykazała ich dużą zmienność w zależności od pory roku. Przeprowadzona analiza wariancji wskazała jednocześnie, że zmienność ta jest bardzo nieregularna i zróżnicowana (tab. 2).

**Tabela 2.** Wyniki analizy wariancji w zależności od pory roku  
**Table 2.** Results from variance analysis depending on the season

Wskaźnik	SK pom. grupami	df grup	ŚK pom. grupami	SK reszt	df reszt	ŚK reszt	Wartość testu F	Poziom p
Odczyn	8,1	3	2,7	49	117	0,45	6,01	0,001
Temperatura	2119,6	3	706,5	819	117	7,0	100,96	0,000
Przewodność elektrolit.	43720,0	3	14573,3	$6,8 \cdot 10^6$	117	58404,3	0,25	0,861
Azot azotynowy(III)	0,0	3	0,0	0,0	117	0,0	1,35	0,258
Azot azotanowy(V)	112,5	3	37,5	4180	117	35,7	1,05	0,373
Azot amonowy	17,4	3	5,8	462	117	3,9	1,47	0,225
Tlen rozpuszczony	200,3	3	66,8	798	117	7,7	8,62	0,000
ChZT	$0,2 \cdot 10^6$	3	5289,5	$3,2 \cdot 10^6$	117	27588,7	2,00	0,117
Ortofosforany	11,6	3	3,9	253	117	2,16	1,78	0,152
Siarczany(VI)	7759,0	3	2586,3	$0,2 \cdot 10^6$	117	2095,9	1,23	0,301
Żelazo	2,8	3	0,9	26	117	0,22	4,28	0,006
Cyjanki	0,0	3	0,0	0,0	117	0,00	0,29	0,827
Twardość ogólna	$0,1 \cdot 10^6$	3	47168,4	$2,7 \cdot 10^6$	117	23376,6	2,01	0,115
Chlorki	20044,0	3	6681,3	$0,3 \cdot 10^6$	117	2667,7	2,50	0,062
Bor	24,5	3	8,2	149	117	1,38	5,91	0,001
Substancje rozpuszczone	$0,7 \cdot 10^6$	3	$0,2 \cdot 10^6$	$9,5 \cdot 10^6$	117	81326,0	3,02	0,032

Zgodnie z uzyskanymi wynikami istotna zmienność jakości wody w poszczególnych porach roku dotyczy takich wskaźników jak: odczyn, temperatura, tlen rozpuszczony, żelazo, bor, substancje rozpuszczone. Przeprowadzony dodatkowo test Tukeya wskazał, że największa zmiana jakości wody dla ww. wskaźników następuje jesienią. W tym okresie wartości badanych wskaźników znacznie odbiegają od pozostałych pór roku. Przykładowo średnia wartość tlenu rozpuszczonego w okresie wiosennym wynosi  $8,76 \text{ mg/dm}^3$  podczas gdy jesienią  $-5,55 \text{ mg/dm}^3$ , podobnie substancje rozpuszczone latem  $-178,13 \text{ mg/dm}^3$  zaś jesienią  $366,28$  lub bor latem  $-0,70 \text{ mg/dm}^3$  a jesienią  $1,55 \text{ mg/dm}^3$ . Zróżnicowanie jakości wody w poszczególnych okresach roku zilustrowano na rysunku 4. Przedstawiono na nim wskaźniki dla których - zgodnie z przeprowadzoną analizą wariancji - uzyskano poziom istotności  $p < 0,05$ .



Źródło: opracowanie własne

**Rysunek 4.** Średnie wartości wybranych wskaźników [w  $\text{mg/dm}^3$ ] w poszczególnych porach roku (temperatura w  $^{\circ}\text{C}$ , substancje rozpuszczone  $\cdot 10^2$ )  
**Figure 4.** Mean value of some indicators [w  $\text{mg/dm}^3$ ] in each seasons of year (temperature in  $^{\circ}\text{C}$ , dissolved matter  $\cdot 10^2$ )

Przedstawione dane wskazują, iż stężenie zanieczyszczeń w badanych wodach gruntowych może mieć związek z temperaturą. Wzrost temperatury powoduje nie tylko uaktywnienie krążenia wód, ale intensyfikuje również procesy



fizyko-chemiczne [Macioszczyk 2002]. Ze wzrostem temperatury wzrasta rozpuszczalność minerałów, wymiana jonowa oraz parowanie wód gruntowych mogących powodować zateżnienie zanieczyszczeń w roztworze wodnym.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania oraz ich analizy wykazały, iż:

1. Istotne różnice w jakości wody przyjętej jako „tło” oraz odpływającej ze składowiska dotyczą przede wszystkim przewodności elektrolitycznej i substancji rozpuszczonych oraz – w mniejszym stopniu – chlorków, siarczanów i azotu amonowego. Oznacza to, że funkcjonowanie składowiska wzbogaca wody w różnorakie sole i jony oznaczane w wodzie jako przewodność elektrolityczna, czy substancje rozpuszczone.

2. W miarę oddalania się od składowiska obserwowany jest spadek stężenia w wodach gruntowych badanych zmiennych. Świadczy to o zachodzących w wodzie procesach samooczyszczania, które ograniczają negatywne oddziaływanie składowiska na środowisko.

3. Oznaczone wskaźniki tj. temperatura, odczyn, tlen rozpuszczony, żelazo, bor, substancje rozpuszczone cechuje duża zmienność w zależności od pory roku. Największe różnice w jakości wody występują w okresie jesiennym szczególnie w porównaniu do sezonu wiosennego, kiedy to wartości badanych wskaźników uzyskują najwyższe wartości. Wtedy to następuje intensywny (po okresie zimowym) wzrost temperatury, nasilenie przemian biologiczno-chemicznych i intensyfikacja rozkładu materii organicznej.

## BIBLIOGRAFIA

- Appelo C.A.J., Postma D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema: Rotterdam, Brookfield, 1994.
- Dennis R. Helsel. *Nondetects And Data Analysis*. A John Wiley and Sons, Inc: New Jersey, 2005.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D. *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa 2002.
- Pujori, P., Deshpande V. *Source apportionment of groundwater pollution around landfill site in Nagpur, India*. Environmental Monitoring and Assessment, vol. III, 1-3, 2005.
- Rowe, R.K., Booker, J.R. *A practical modelling technique for assessing potential contaminant impact due to landfills. Modelling and Application in Geomechanics*. John Wiley and Sons, Ltd, pp.493-504, 2000.
- Szczepańska J., Kmiecik E. *Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych*; AGH: Kraków, 1998.

*Artykuł powstał w ramach realizacji pracy S/WBiIŚ/22/08*

Dr inż. Izabela Anna Tałałaj  
Politechnika Białostocka  
Katedra Systemów Inżynierii Środowiska

*Izabela Anna Talałaj*

---

ul. Wiejska 45A  
15-351 Białystok  
e-mail: [izalek@pb.edu.pl](mailto:izalek@pb.edu.pl)

Recenzent: *Prof. dr hab. Stanisław Krzanowski*