

## 4

# ZMIENNOŚĆ WSKAŹNIKÓW WIETRZENIA WSPÓŁCZESNYCH OSADÓW ODRY I JEJ DOPŁYWÓW

### 4.1 WSTĘP

Na skład chemiczny osadów rzecznych wpływa przede wszystkim litologia zlewni, klimat warunkujący przebieg procesów wietrzenia oraz sposób zagospodarowania i użytkowania terenu zlewni. W warunkach naturalnych osady gromadzące się na dnie rzek powstają w wyniku akumulacji materiału pochodzącego z erozji i wietrzenia skał występujących na obszarze zlewni (m.in. ziaren kwarcu, skaleni, minerałów węglanowych, minerałów ilastych, minerałów ciężkich) oraz materiału powstałego w miejscu sedymentacji (szczątki obumarłych organizmów roślinnych i zwierzęcych oraz wytrącające się z wody substancje np. goetyt, fluoroapatyt, makiawit). Na terenach uprzemysłowionych, zurbanizowanych oraz rolniczych do osadów trafiają również metale ciężkie i trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO), zawarte w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych [5, 7, 9, 10, 11].

Proces wietrzenia, a zwłaszcza wietrzenie chemiczne, ma szczególne znaczenie dla uruchamiania, migracji i akumulacji pierwiastków w środowiskach powierzchniowych. Do określenia stopnia zubożenia osadów w składniki mobilne w stosunku do niemobilnych w następstwie procesu wietrzenia wykorzystywane są wskaźniki wietrzenia [2, 17, 22]. Stosuje się je powszechnie w badaniach zarówno współczesnych, jak i kopalnych profili wietrzeniowych. Wskaźniki wietrzenia są również przydatne do śledzenia zmienności składników w profilach podłużnych rzek oraz do oceny żyzności i rozwoju gleb [3, 8, 12, 19, 24, 26]. Wskaźniki te odzwierciedlają wpływ klimatu na wietrzenie skał macierzystych, charakteryzują przemiany związane z neotektoniką, określają ilościowo właściwości regolitu i pozwalają na lepsze wyjaśnienie mobilności pierwiastków podczas procesów wietrzenia [14, 21, 27].

Większość obszaru zlewni Odry (118861 km<sup>2</sup> w tym zlewnia Warty zajmuje 54529 km<sup>2</sup>) pokrywają utwory czwartorzędowe: piaski, żwiry, mady rzeczne, torfy i namuły plejstocenu oraz piaski, żwiry i mułki rzeczne holocenu [20]. W niektórych miejscach (np. w rejonie Widuchowej) podłoże budują gliny zwałowe i ich

zwietrzliny, a w zlewni Opawy występują czwartorzędowe lessy. Górne odcinki lewostronnych dopływów Odry (Kwisy, Bobra, Orlicy) drenują skały magmowe (gnejsy, amfibolity, granity, eklogity i granulity) i osadowe (wapienie, łupki) Sudetów.

W osadach rzecznych dominującym minerałem jest kwarc, w mniejszych ilościach są obecne węglany i skalenie. Wymienione składniki występują we frakcjach ziarnowych większych niż 0,06 mm, stanowiących najczęściej ponad 90% osadu. Materiał ten pochodzi przede wszystkim z erozji skał występujących na obszarze zlewni. We frakcjach drobnoziarnistych, poniżej 0,06 mm, przeważającymi minerałami są związki z grupy mika/illit, kwarc, kaolinit, oraz chloryty; w mniejszym stopniu obecne są węglany, skalenie, pirokseny i amfibole. W znaczących ilościach w osadach są obecne także substancje organiczne oraz uwodnione tlenki żelaza i manganu [4].

#### 4.2 WSKAŹNIKI WIETRZENIA

Do określania stopnia wietrzenia najczęściej stosowane są indeksy: wietrzeniowy wskaźnik Parkera (WIP), wskaźnik Vogt'a (V), chemiczny wskaźnik przemian (CIA), wskaźnik wietrzenia chemicznego Harnois'a (CIW) i wskaźnik przemian plagioklazów (PIA) (tabela 4.1).

**Tabela 4.1 Wskaźniki wietrzenia chemicznego**

Indeks	Wzór
Wietrzeniowy wskaźnik Parkera (WIP)	$WIP = \left( \frac{2Na_2O}{0,35} + \frac{MgO}{0,9} + \frac{2K_2O}{0,25} + \frac{CaO}{0,7} \right) \times 100$
Wskaźnik Vogt'a (V)	$V = \frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$
Chemiczny wskaźnik przemian (CIA)	$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} \times 100$
Wskaźnik wietrzenia chemicznego Harnois'a (CIW)	$CIW = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O} \times 100$
Wskaźnik przemian plagioklazów (PIA)	$PIA = \frac{Al_2O_3 - K_2O}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O} \times 100$

**Wietrzeniowy wskaźnik Parkera (WIP)** uwzględnia mobilność sodu, potasu, magnezu i wapnia w trakcie procesów wietrzenia i siłę wiązania tych pierwiastków z tlenem [23]. Przy jego obliczaniu przyjmuje się, że cała ilość wapnia w skałach jest zawarta w minerałach krzemianowych. To uproszczenie jest źródłem nieścisłości wskaźnika, szczególnie jeśli w skale obecne są większe ilości detrytusu lub spoiwa węglanowego. Problematiczny jest też brak w sposobie jego obliczenia względnie nieruchomej fazy jaką jest  $Al_2O_3$  [1]. Badania Shao i in. [26] wykazały, że wartość wietrzeniowego wskaźnika Parkera (WIP) w próbkach zawieszanej materii drobnocząsteczkowej rzek chińskich waha się od 24,7 do 58,3 ze średnią 38,8, a w próbkach z obszarów zalewowych wynosi od 26,4 do 59,4 ze średnią 44,4.

**Wskaźnik Vogt'a (V)** określa stosunek tlenków kationów niemobilnych (glin) do mobilnych (magnez, wapń i sód) [28] przy założeniu, że zawartość potasu pozostaje stała w trakcie procesu wietrzeniowego. Wskaźnik ten jest próbą określenia dojrzałości osadów rezydualnych, a jego wyższe wartości wskazują na większą intensywność procesów wietrzenia [18, 24]. Na przykład w profilach wietrzeniowych skał w basenie Coweeta, w północnej Karolinie w USA, wartość tego indeksu jest w przedziale 1,9-16,2 [24].

**Chemiczny wskaźnik przemian (CIA)** obrazuje stosunek przeważnie nieruchomego w trakcie wietrzenia  $Al_2O_3$  do kationów mobilnych:  $Na^+$ ,  $K^+$  i  $Ca^{2+}$  [1]. Najwyższy stopień wietrzenia wykazuje kaolinit (wartości CIA do 100). Illit występuje przy wartościach 75-90, dla muskowitu wskaźnik wynosi do 75, a dla skalenia 50. Wartości dla niezwiertzałych bazaltów znajdują się w przedziale 30-45, a dla granitów i granodiorytów między 45-55 [13, 22]. Wartości CIA w osadach rzek świata wahają się pomiędzy 48,2 a 89,9 ze średnią 72, a w rzekach afrykańskich są największe (średnio 83,4) w porównaniu do innych kontynentów. Najniższa wartość w przypadku rzek Ameryki Północnej wynosi 66,0. Wskaźnik dla rzek Azji wynosi średnio 71,7 i jest zbliżony do średniej światowej. Najwyższymi wartościami wskaźnika CIA w osadach charakteryzują się rzeki Konga 89,9, a najniższymi – cieki półwyspu Kola na obszarze arktycznym 48,2 [19]. Badania wartości wskaźnika CIA zawieszanej materii rzek w Chinach kształtowały się między 58,8 a 91,3 ze średnią 71,4 zbliżoną do światowej, a w osadach obszarów zalewowych były w zakresie od 44,5 do 84,3 ze średnią 61,3. Średnie wartości CIA wyraźnie odzwierciedlają wzrost intensywności wietrzenia krzemianów od dolnego do górnego biegu rzeki [26].

**Wskaźnik wietrzenia chemicznego Harnois'a (CIW).** Sposób obliczania wskaźnika jest zbliżony do obliczania wskaźnika CIA – eliminuje jedynie udział  $K_2O$ . Ze względu na to, że w obliczeniach nie oddziela się glinu związanego ze skaleniami potasowymi, w przypadku skał bogatych w te minerały CIW może osiągać bardzo wysokie wartości bez względu na to, czy skały są chemicznie zwiertzałe, czy też nie [13].

**Wskaźnik przemian plagioklazów (PIA)** został zaproponowany jako zamiennik CIW. Znajduje on szczególne zastosowanie przy oddzielnym monitorowaniu wietrzenia plagioklazów. PIA osiąga wartości do 50 w przypadku skał niezwiertzałych i zbliżone do 100 dla minerałów ilastych, takich jak: kaolinit, illit czy gibbsyt, zgodnie z wartościami otrzymanymi ze wzoru wskaźnika CIA [13].

Na zakresy zmienności indeksów wietrzenia ma wpływ litologia, klimat, wielkość spływu powierzchniowego oraz morfologia terenu [15, 16, 19, 29]. Na przykład Price i Velbel [24] oraz Buggle i in. [6] wskazywali na wpływ różnorodności składu chemicznego materiału macierzystego na wartość wskaźników wietrzenia. Grantham i Velbel [16] sugerują, że różnice w wartościach CIA w osadach rzek mogą także cechować różnice w wieku odsłonięcia regolitu w zbiorniku.

Ciepły i wilgotny klimat zazwyczaj sprzyja silnemu wietrzeniu chemicznemu.

Li i Yang [19] stwierdzili pozytywną korelację pomiędzy temperaturą a wartościami wskaźnika CIA, mimo negatywnej korelacji pomiędzy szerokością geograficzną a wartościami tego wskaźnika. Temperatura powierzchni Ziemi może być uważana za ważny czynnik kontrolujący wietrzenie kontynentalne [15], którego zmienność wyjaśnia dlaczego rzeki Afryki zazwyczaj posiadają wartości CIA wyższe niż rzeki regionu arktycznego i Ameryki Północnej. Duże zlewnie rzeczne mają szeroką rozpiętość klimatyczną, dużą zmienność środowiska geograficznego i topograficznego, a zawieszona materia drobnocząsteczkowa w tych rzekach ulega dobremu wymieszaniu w procesach wietrzenia, co skutkuje wartościami CIA zbliżonymi do średniej światowej [19]. Zazwyczaj szybkie wyniesienie powierzchni powoduje odsłonięcie świeżych skał i dlatego też wzrasta tempo wietrzenia chemicznego [25].

Uważa się, że spływ powierzchniowy jest jednym z najważniejszych czynników przyspieszających chemiczne wietrzenie krzemianów, podczas gdy rola temperatury jest mniej oczywista, chociaż dojrzałość rzek wykazuje wzrastające tempo wietrzenia krzemianów wraz ze wzrostem temperatury.

Oprócz spływu i temperatury za kolejny regulator wietrzenia chemicznego uważana jest rzeźba akwenu [29] silnie powiązana zarówno z tempem denudacji mechanicznej, jak i chemicznej, szczególnie w rejonach aktywnych tektonicznie, takich jak Himalaje [19].

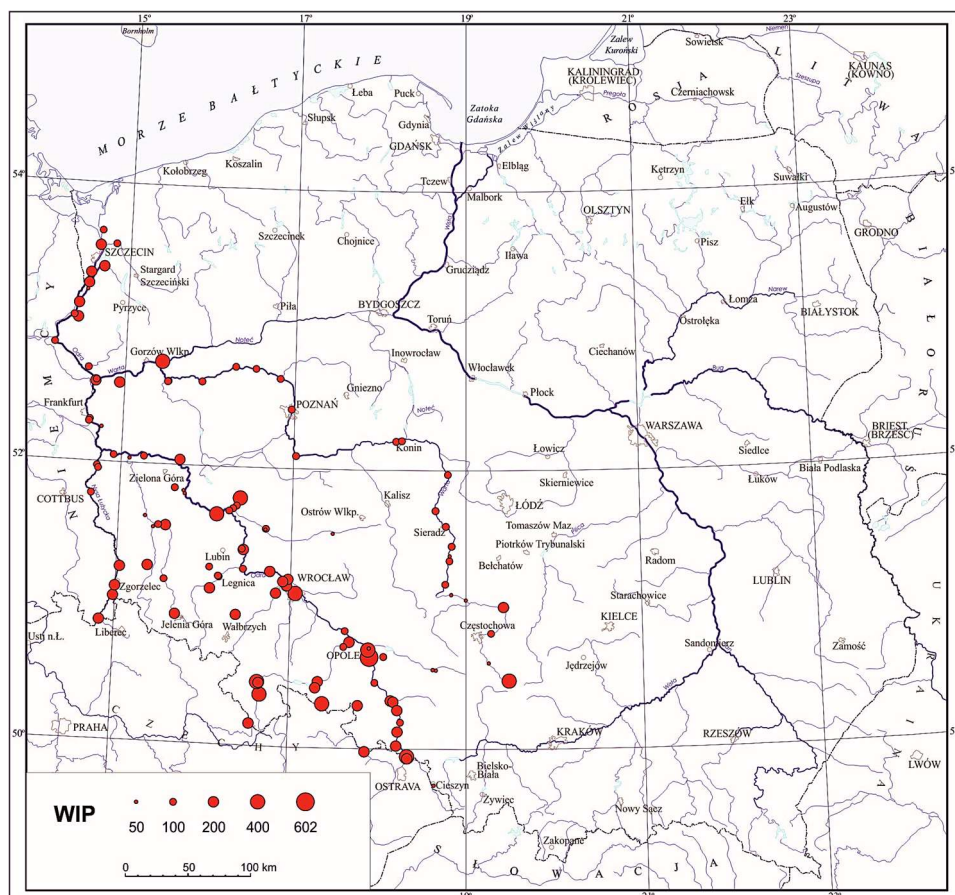
#### 4.3 ZAKRES I METODYKA BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki badań 114 próbek osadów Odry i jej dopływów (Nysy Łużyckiej, Bobra, Kwisy, Kaczawy, Bystrzycy, Baryczy, Nysy Kłodzkiej i Małej Panwi) oraz Warty i jej dopływów, pobranych podczas realizacji programu Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) w 2015 roku. Lokalizację miejsc opróbowania przedstawiono na schematycznej mapie (rys. 4.1).

Próbki osadów pobierano aluminiowym czerpakiem ze strefy brzegowej rzek, w miejscach, gdzie tworzący się osad charakteryzuje się największą zawartością frakcji mułkowo-ilastej. Każda próbka była uśrednioną próbką z czterech – pięciu pobrań, 5-centymetrowej powierzchniowej warstwy osadów na odcinku około 50 m. Próbki osadów suszono w temperaturze pokojowej, a następnie przesiewano przez sita nylonowe o oczkach 0,2 mm. W badaniach analitycznych wykorzystano frakcję ziarnową < 0,2 mm.

Oznaczenia zawartości glinu, wapnia, magnezu, potasu i sodu wykonano metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES) po rozтворzeniu próbek osadów wodą królewską. Granice oznaczalności wynosiły dla Al, Ca, Mg i K – 0,01%, a dla Na – 0,001%.

Wyniki analiz zostały wykorzystane do obliczeń wartości wskaźników wietrzenia chemicznego według wzorów zawartych w tabeli 4.1.



Rys. 4.1 Miejsca pobrania próbek i wartości wietrzeniowego wskaźnika Parkera

#### 4.4 WYNIKI I DISKUSJA

Glin w osadach zlewni Odry odnotowano w zakresie od 0,12% do 1,52%, średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły odpowiednio 0,44%, 0,34% i 0,29% (tab. 4.2). Zawartość wapnia w badanych osadach wahała się od 0,04% do 4,54%, średnia zawartość wynosiła 0,43%, średnia geometryczna 0,26%, a mediana 0,25%. Zawartość magnezu zmieniała się od 0,01% do 0,69%, z kolei średnia, średnia geometryczna i mediana przedstawiały się następująco 0,13%, 0,08% i 0,06%. Sód w osadach zlewni Odry obecny był w zakresie stężeń od 0,006% do 0,172%, natomiast średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły 0,024%, 0,019% i 0,018%. W przypadku potasu jego zawartość zmieniała się od 0,03% do 0,28%, średnia wynosiła 0,08%, a średnia geometryczna i mediana odpowiednio 0,07% i 0,06%. Zakresy zawartości pierwiastków oraz wartości średnich, średnich geometrycznych i median w osadach zlewni górnej i dolnej Odry oraz Warty przedstawia tabela 4.2.

W osadach zlewni Odry wartości WIP kształtowały się od 26,8 do 602, a średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły odpowiednio 118, 95,4 i 87,8. Wartości V odnotowano w zakresie od 0,1 do 3, średnia wynosiła 1,2, a średnia geometryczna i mediana 0,9 i 1,1. W przypadku CIA wartości zmieniały się od 8,5 do 66,3, natomiast średnia, średnia geometryczna i mediana przedstawiały się następująco 41,2, 37,6 i 43,2.

**Tabela 4.2 Parametry statystyczne zawartości pierwiastków w osadach rzecznych**

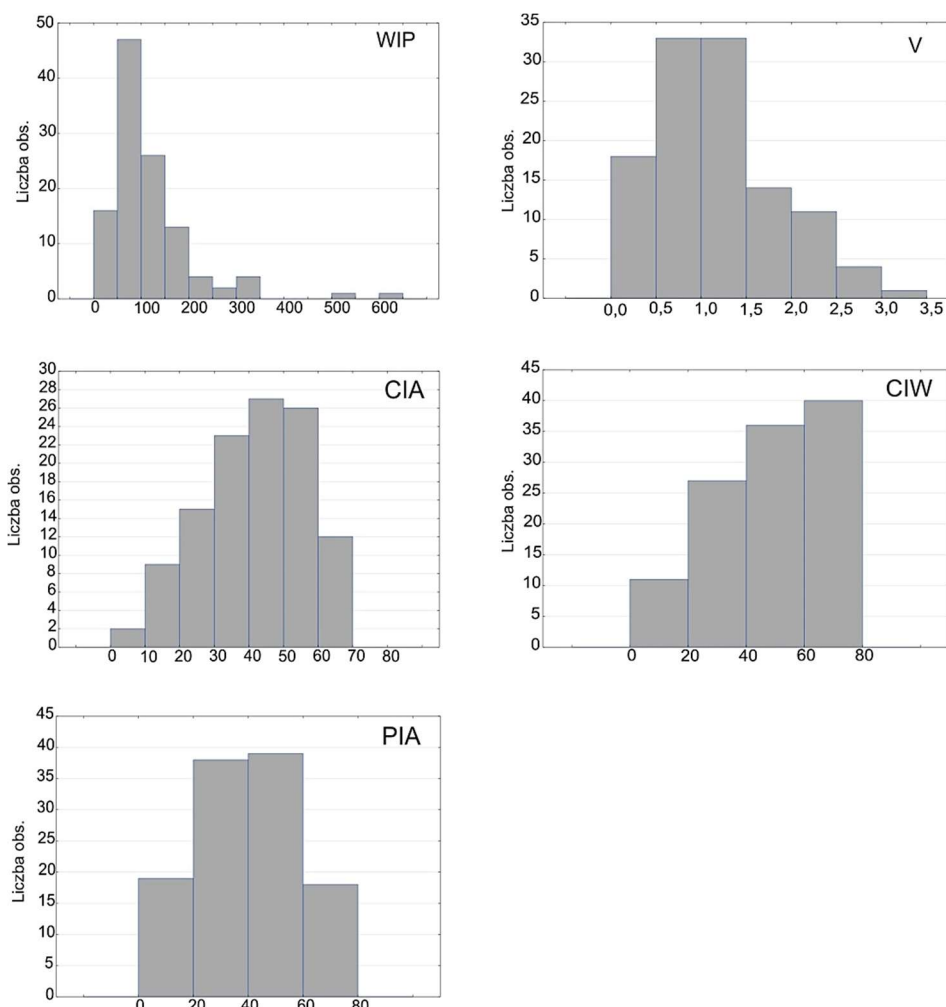
Pierwiastek	Średnia	Średnia geometryczna	Mediana	Minimum	Maksimum
Zlewnia Odry (n=114)					
Al	0,44	0,34	0,29	0,12	1,52
Ca	0,43	0,26	0,25	0,04	4,54
Mg	0,13	0,08	0,06	0,01	0,69
Na	0,024	0,019	0,018	0,006	0,172
K	0,08	0,07	0,06	0,03	0,28
Zlewnia górnej Odry (n=77)					
Al	0,56	0,45	0,46	0,15	1,52
Ca	0,42	0,24	0,25	0,04	4,54
Mg	0,16	0,10	0,10	0,02	0,69
Na	0,027	0,022	0,020	0,006	0,172
K	0,10	0,08	0,09	0,03	0,28
Zlewnia dolnej Odry (n=11)					
Al	0,19	0,18	0,17	0,12	0,33
Ca	0,57	0,48	0,65	0,18	1,09
Mg	0,05	0,05	0,05	0,03	0,09
Na	0,017	0,016	0,015	0,010	0,024
K	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07
Zlewnia Warty (n=26)					
Al	0,22	0,21	0,21	0,12	0,48
Ca	0,41	0,23	0,22	0,04	2,41
Mg	0,07	0,05	0,04	0,01	0,58
Na	0,016	0,015	0,015	0,009	0,029
K	0,06	0,05	0,05	0,03	0,09

**Tabela 4.3 Parametry statystyczne wskaźników wietrzenia chemicznego**

Wskaźnik	Średnia	Średnia geometryczna	Mediana	Minimum	Maksimum
Zlewnia Odry (n=114)					
WIP	118	95,4	87,8	26,8	602
V	1,2	0,9	1,1	0,1	3
CIA	41,2	37,6	43,2	8,5	66,3
CIW	48,3	43,5	52,7	8,9	76,7
PIA	39,2	33,6	40,1	4,8	72,1
Zlewnia górnej Odry (n=77)					
WIP	130	103	115	26,8	602
V	1,3	1,2	1,3	0,2	3
CIA	46,9	44,6	49,2	10,6	66,3
CIW	55	51,9	58	11	76,7
PIA	46,5	42,9	48,7	7,8	72,1
Zlewnia dolnej Odry (n=11)					
WIP	101	94,3	124	49,1	162
V	0,4	0,4	0,4	0,1	0,8
CIA	20,7	18,7	24,3	8,5	33,5
CIW	23	20,4	27	8,9	38,6
PIA	15,1	12,6	13,9	4,8	27,4
Zlewnia Warty (n=26)					
WIP	89,6	75,9	69,8	34,5	316
V	0,9	0,7	0,9	0,1	2,7
CIA	33	30,5	33,8	8,8	59,2
CIW	39,3	35,6	40,2	8,9	73,2
PIA	27,8	24,7	27,3	7,6	64,9

Dla CIW wartości wahały się między 8,9 i 76,7, a średnia, średnia geometryczna i mediana odpowiednio wynosiły 48,3, 43,5 i 52,7. Wartości PIA zmieniały się od 4,8 do 72,1, średnia wynosiła 39,2, a średnia geometryczna i mediana odpowiednio 33,6 i 40,1. Wartości wskaźników w osadach zlewni górnej i dolnej Odry oraz Warty zestawiono w tabeli 4.3.

Histogramy indeksów wietrzenia chemicznego, przedstawiają zakresy wartości wyliczonych wskaźników (rys. 4.2). Dla wskaźnika Parkera najczęściej występujące wartości mieszczą się w przedziale 50-100, rzadziej między 100-150, 0-50 i 150-200. Dla chemicznego wskaźnika wietrzenia najczęściej pojawiały się wartości między 40-50 i 50-60 oraz 30-40 (rys. 4.2).



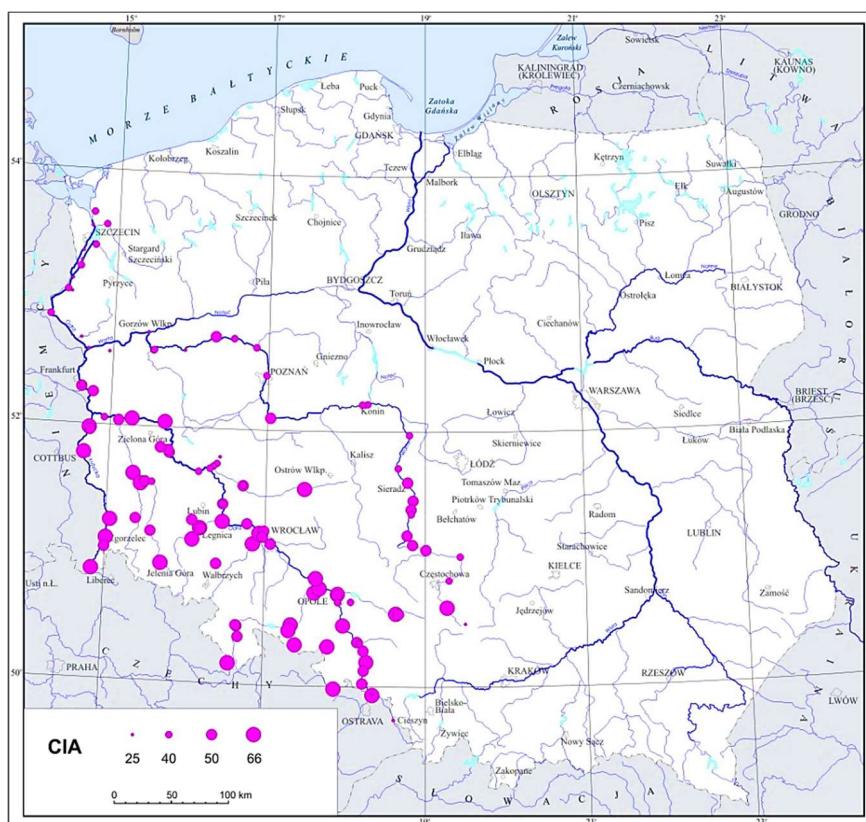
Rys. 4.2 Histogramy wskaźników wietrzenia chemicznego

Otrzymane wartości CIA są znacznie niższe niż średnia rzek świata wynosząca 72, średnia rzek w Azji i Ameryce Północnej, a nawet Półwyspu Kola. Są to w większości wartości niższe niż CIA obliczone dla rzek Mississipi i Amazonki, europejskiego Dunaju, a także Kongo i Nilu w Afryce [19]. Z kolei wartości WIP dla zlewni Odry są zdecydowanie wyższe niż wartości WIP rzek w Chinach, m.in. rzeki Jangcy i Zhuijang [26].



Stwierdzono, że wzdłuż biegu Odry i Warty, podobnie jak w osadach rzek Chin chemiczny wskaźnik przemian malał w kierunku dolnego biegu rzek [19, 26]. Obliczone wartości CIA świadczą o obecności w podłożu niezwiertzałych bazaltów, granitów, granodiorytów oraz skaleni [13, 22].

Ze względu na wyraźne zróżnicowanie zawartości poszczególnych pierwiastków (tab. 4.2), jak i wartości wskaźników wietrzenia w analizowanych osadach (tab. 4.3, rys. 4.3, 4.4) wyróżniono trzy obszary o odmiennym charakterze: teren zlewni Odry (wraz z dopływami) do ujścia Warty (obszar nazywany w dalszej części pracy „zlewnia górnej Odry”), teren zlewni poniżej ujścia Warty (analogicznie obszar „zlewnia dolnej Odry”) oraz obszar zlewni Warty.

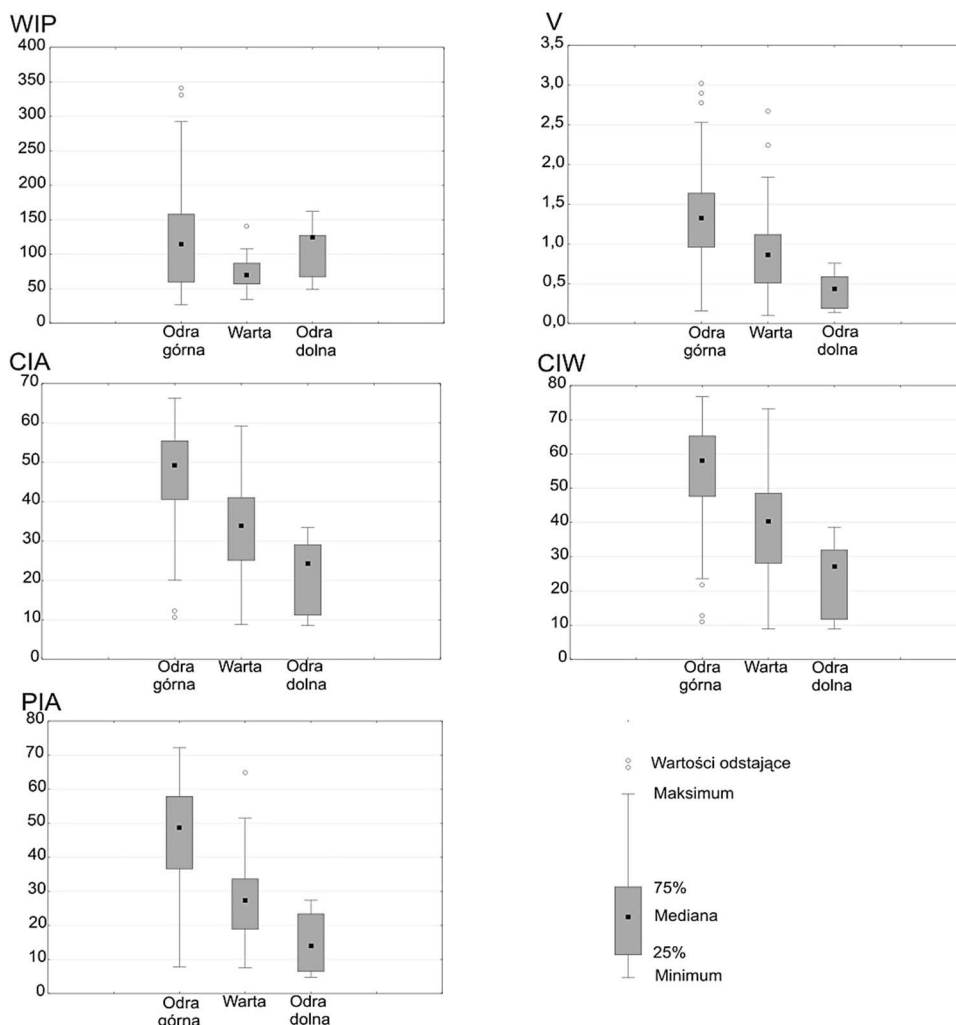


Rys. 4.3 Wartości chemicznego wskaźnika przemian

Dla zlewni górnej Odry wartości wskaźnika Parkera zmieniają się w bardzo szerokim zakresie od 26,8 do 602 (na rys. 4.4 nie uwzględniono pojedynczych wartości ekstremalnych). Najwyższą wartość WIP wykazały osady Olzy w Ropicach (drenującej węglanowe osady kredy). Wartości w granicach od 536 do 331 stwierdzono w osadach przy ujściu Małej Panwi do Odry, Oławy do Odry i Rudnej do Odry (rys. 4.1). Wyraźnie wyższe wartości wskaźnika dominujące na południu obszaru badawczego oraz przy ujściach rzek świadczą o słabym wietrzeniu chemicznym w górnej części zlewni Odry. Charakterystyczne są wartości chemicznego wskaźnika przemian CIA, które wahają się w zakresie od 10,6 do 66,3. Najniższą wartość zanotowano dla osadów Olzy, a najwyższą dla Nysy Łużyckiej w



Zgorzelcu. Wskaźniki się uzupełniają i wykazują jednakowy trend. Osady migrujące do dolnego odcinka zlewni Odry uległy większemu wietrzeniu chemicznemu podczas transportu (na skutek odprowadzenia pierwiastków bardziej mobilnych) oraz rozcieńczenia przez osady Warty.



Rys. 4.4 Parametry statystyczne wskaźników wietrzenia chemicznego

Dla zlewni dolnej Odry wartości wskaźnika WIP wahają się pomiędzy 49,1 a 162. Osady te są znacznie mniej zróżnicowane niż osady Odry górnej. Najniższą wartość zaobserwowano na rzece Tywie. Z kolei wartości chemicznego wskaźnika przemian ukształtowały się w zakresie od 8,5 do 33,5. Niskie wartości WIP i CIA świadczą o silnym wietrzeniu chemicznym skał w tej części zlewni.

W przypadku zlewni Warty wartości wskaźnika WIP mieszczą się w przedziale od 34,5 do 316. Najniższą wartość wykazały osady w górnym biegu Warty. Z kolei wartości CIA wahały się w przedziale między 8,8 a 59,2. Najniższą wartość wskaźnika otrzymano u źródła Warty, a jednocześnie była tam najwyższa wartość WIP. Można zatem przypuszczać, że wietrzenie na obszarze zlewni Warty przebiegało dość intensywnie.

Zaobserwowano dużą różnicę wartości wskaźników w zlewniach Warty i Odry.

Wartość mediany wskaźnika Parkera różni się nieznacznie w zlewni górnej Odry i dolnej Odry (odpowiednio 115 i 124). Zakres najczęściej występujących wartości WIP (percentyli 25-75) jest nieco szerszy dla osadów zlewni górnej Odry (60-160) niż zlewni dolnej Odry (67-128) (rys. 4.2) W przypadku Warty wartość mediany wyniosła 70, a zakres percentyli był znacznie węższy (57-87).

Wskaźnik Vogt'a na badanym obszarze najwyższe wartości osiągnął w pobliżu ujścia Warty w środkowym biegu Odry, w dolnym biegu Nysy Łużyckiej oraz w miejscach ujść Kwisy i Bobra. Najniższe wartości wykazały punkty w dolnym biegu Odry, przy ujściu do Bałtyku.

W przypadku pozostałych wskaźników widoczne jest znaczne podobieństwo parametrów statystycznych. Dla chemicznego wskaźnika przemian wartość mediany wszystkich trzech badanych obszarów jest rozbieżna. Dla górnej Odry wynosi 49, dla dolnej Odry 24, a dla Warty 34. Zakres percentyli 25-75 dla osadów zlewni górnej Odry wynosi 40-55, dla dolnej Odry 11-29 i dla Warty 25-41.

Na malejące wartości wskaźnika wietrzenia chemicznego WIP z południa na północ oraz niskie wartości CIA, CIW, V i PIA w osadach w części północnej obszaru badawczego niewątpliwie ma wpływ litologia zlewni. Wszystkie parametry statystyczne wskaźnika WIP są zdecydowanie mniejsze dla osadów Warty (rys. 4.4) niż wartości wskaźnika WIP dla osadów dolnej i górnej Odry, co wiąże się przede wszystkim ze składem litologicznym podłoża zlewni. Warta na prawie całym obszarze zlewni drenuje osady czwartorzędu. Jedynie w górnej części zlewni na niewielkim obszarze odsłaniają się osady starszego podłoża (węglanowe utwory triasu i jury).

#### 4.5 WNIOSKI

1. Uzyskane wartości wskaźników WIP i CIA na obszarze zlewni Odry świadczą o wzroście intensywności wietrzenia chemicznego składników osadów podczas ich transportu z południa na północ Polski.
2. Na wartości wskaźników wietrzenia znaczny wpływ ma litologia utworów budujących podłoża zlewni. Starsze podłoża triasowe, jurajskie i kredowe wykazuje większą odporność na wietrzenie chemiczne i mniejszą podatność na ługowanie pierwiastków. Największe straty pierwiastków powodowane ługowaniem charakterystyczne są w dolnej części zlewni Odry, na podłożu czwartorzędowym.
3. W kierunku dolnego biegu Odry wszystkie parametry maleją, co świadczy o odprowadzaniu wraz z roztworami przede wszystkim składników skaleni.

#### **Podziękowania**

*Serdeczne podziękowania dla Pana Wojciecha Markowskiego  
za wykonanie załączników graficznych.*

## LITERATURA

- [1] H. Bahlburg, N. Dobrzinski. A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions [in:] Arnaud E., Halverson G.P., Shields-Zhou G.A. (ed.): *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Geological Society, London 2011, Memoir 36, p. 81-92.
- [2] R. Bäumler, W. Zech. *Quaternary paleosols, tephra deposits and landscape history in South Kamchatka, Russia*. Catena 41, 2000, p. 199-215.
- [3] H. Bilinski. *Weathering of sandstones studied from the composition of stream sediments of the Kupa River (Croatia)*. Mineralogical Magazine 72(1), 2008, p. 23-26.
- [4] I. Bojakowska, G. Sokołowska. *Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych*. Przegląd Geologiczny. Warszawa 1998, 46(1), s. 49-54.
- [5] I. Bojakowska, T. Gliwicz, K. Małecka. *Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2003-2005*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2006.
- [6] B. Buggle, B. Glaser, U. Hambach, N. Gerasimenko, S. Markovic. *An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies*. Quat. Int. 240 (1-2), 2011, p. 12-21.
- [7] E. Cempel, A. Czajkowska, K. Nowińska, M. Pozzi. *Przejawy antropopresji w zlewni rzeki Bytomki*. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 2014.
- [8] B. Chetelat, C. Liu, Q. Wang, G. Zhang. *Assessing the influence of lithology on weathering indices of Changjiang river sediments*. Chemical Geology 359, 2013, p. 108-115.
- [9] D. Ciszewski. *Source of pollution as a factor controlling distribution of heavy metals in bottom sediments of Chechło River (south Poland)*. Environ. Geol. 29, 1997, pp. 50-57.
- [10] D. Ciszewski. *Zapis działalności przemysłowej w osadach fluwialnych*, [w:] Szwarczewski P., Smolska E. (red.): *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym*. tom I. Warszawa-Łomża 2002, s. 23-28.
- [11] D. Ciszewski. *Osady pozakorytowe Odry jako archiwum historii zanieczyszczenia rzeki metalami ciężkimi*, [w:] Kotarba A., Krzemień K., Święchowicz J. (red.). *Współczesna ewolucja rzeźby Polski*. VII Zjazd Geomorfologów Polskich. IGiGP UJ, Kraków 2005, s. 60-67.
- [12] B. Delvaux, A.J. Herbillon, L. Vielvoye. *Characterization of a weathering sequence of soils derived from volcanic ash in Cameroon. Taxonomic, mineralogical and agronomic implications*. Geoderma 45, 1989, pp. 375-388.
- [13] C.M. Fedo, H.W. Nesbitt, G.M. Young. *Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance*. Geology 23, 1995, pp. 921-924.
- [14] C.M. Fedo, K.A. Eriksson, E.J. Krogstad. *Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications for*

- provenance and source-area weathering. Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 1996, pp. 1751-1763.
- [15] J. Gaillardet, B. Dupre', P. Louvat, C. J. Alle`gre. *Global silicate weathering and CO2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chemical Geology*, v. 159, 1999, pp. 3-30.
- [16] J.H. Grantham, M.A. Velbel. *Influence of climate and topography on rock fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. Journal of Sedimentary Petrology*, v. 58, 1988, pp. 219-227.
- [17] L. Harnois. *The CIW index: a new Chemical Index of Weathering. Sedimentary Geology* 55, 1988, pp. 319-322.
- [18] D. Haskins. *Chemical and mineralogical weathering indices as applied to a granite saprolite in South Africa. IAEG2006, Paper number 465, Geological Society of London 2006.*
- [19] C. Li, S.Y. Yang. *Is chemical index of alteration a reliable proxy for chemical weathering in global drainage basins? American Journal of Science* 310, 2010, pp. 111-127.
- [20] L. Marks, A. Ber, W. Gogołek, K. Piotrowska. *Mapa geologiczna Polski 1:500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa 2006.*
- [21] V.E. Neall. *Genesis and weathering of andosols in Taranaki, New Zealand. Soil Science* 123, 1977, pp. 400-408.
- [22] H.W. Nesbitt, G.M. Young. *Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature* 299, 1982, pp. 715-717.
- [23] A. Parker. *An index of weathering for silicate rocks. Geological Magazine* 107, 1970, pp. 501-504.
- [24] J.R. Price, M.A. Velbel. *Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogenous felsic metamorphic parent rocks. Chemical Geology* 202, 2003, pp. 397-416.
- [25] M.E. Raymo, W.F. Ruddiman. *Tectonic forcing of late Cenozoic climate: Nature*, v. 359, 1992, pp. 117-122.
- [26] J. Shao, S. Yang, C. Li. *Chemical indices (CIA and WIP) as proxies for integrated chemical weathering in China: Inferences from analysis of fluvial sediments. Sedimentary Geology* 265-266, 2012, pp. 110-120.
- [27] A. Sharma, V. Rajamani. *Major element, REE, and Rother trace element behavior in amphibolite weathering under semiarid conditions in southern India. Journal of Geology* 108, 2000, pp. 487-496.
- [28] T. Vogt. *Sulitjelmafeltets geologi og petrografi. Norges Geologiske Undersokelse* 121, 1927, pp. 1-560 (in Norwegian, with English abstract).
- [29] A.F. White, A.E. Blum. *Effects of climate on chemical weathering rates in watersheds. Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, 1995, pp. 1729-1747.

## ZMIENNOŚĆ WSKAŹNIKÓW WIETRZENIA WSPÓŁCZESNYCH OSADÓW ODRY I JEJ DOPŁYWÓW

**Streszczenie:** Wskaźniki wietrzenia chemicznego są powszechnie stosowane do charakterystyki profili wietrzeniowych i określania stopnia procesu wietrzenia. Ich wartości pozwalają na wskazanie składu niezwiertzałej skały macierzystej. Wykorzystując wyniki badań osadów zlewni Odry i Warty przeprowadzono próbę określenia zmienności wskaźników wietrzenia na tym obszarze kraju. Wśród stosowanych wskaźników największą rolę mają wietrzeniowy wskaźnik Parkera (WIP) i chemiczny wskaźnik przemian (CIA), zatem im poświęcono najwięcej uwagi. W celu lepszego odzwierciedlenia intensywności wietrzenia stosowano dodatkowe wskaźniki, wrażliwe na najmniejsze zmiany geochemiczne. Obliczano wskaźnik Vogt'a (V), wskaźnik wietrzenia chemicznego Harnois'a (CIW) i wskaźnik przemian plagioklazów (PIA). Wyniki badań pozwoliły na ocenę intensywności wietrzenia na całym obszarze badawczym, a także na wskazanie czynników odpowiadających za jego przebieg. Na wartość wskaźników wietrzenia wpływają: litologia, klimat, wielkość spływu powierzchniowego i morfologia terenu.

**Słowa kluczowe:** wskaźniki wietrzenia chemicznego, zlewnia Odry, wietrzenie chemiczne

## WEATHERING INDICES VARIABILITY OF CONTEMPORARY ODRA SEDIMENTS AND ITS TRIBUTARIES

**Abstract:** Chemical weathering indices are commonly used for characterizing weathering profiles and evaluating degree of weathering process. Their values allow to point at non-weathered source rock composition. Using study results of Odra and Warta drainage basin sediments, there was made a try to define variability of chemical indices in this country area. Among applied indices the most important role have Weathering Index of Parker (WIP) and Chemical Index of Alteration (CIA), thus them was given the most attention to. In order to better reflecting the intensity of weathering there were used additional indices, sensitive to the slightest geochemical changes. Vogt's Residual Index (V), Chemical Index of Weathering (CIW) and Plagioclase Index of Alteration (PIA) were calculated. Study results let to evaluation the weathering intensity in the all study area and to indicate factors, which are in charge of this process. Lithology, climate, flow magnitude and region morphology have an influence on the values of weathering indices.

**Key words:** chemical weathering indices, Odra drainage basin, chemical weathering

prof. dr hab. Izabela Bojakowska  
Państwowy Instytut Geologiczny -  
Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa  
e-mail: izabela.bojakowska@pgi.gov.pl

mgr Weronika Nadłonek  
Uniwersytet Śląski,  
Wydział Nauk o Ziemi  
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

*Data przesłania artykułu do Redakcji:* 06.2016  
*Data akceptacji artykułu przez Redakcję:* 09.2016