

Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska

Detailed geochemical map of Upper Silesia

1:25 000

Arkusz
Sheet

TARNOWSKIE GÓRY

Redakcja
Editors

Anna Pasieczna Agnieszka Konon



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2021

Sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Autorzy: Anna Pasieczna, Katarzyna Strzezińska, Agnieszka Konon, Kamil Bala, Angelika Szczypczyk

Recenzent: prof. dr hab. Izabela Bojakowska

Tłumaczenie: Krzysztof Leszczyński

Redakcja i skład: Anna Andraszek, Magda Wilczyńska

Projekt okładki: Łukasz Borkowski na podstawie projektu serii Wojciecha Markiewicza

Zdjęcie na okładce: szyb sztolni Czarnego Pstrąga w Tarnowskich Górach, fot. Piotr Kaszycki

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2021

ISBN 978-83-66888-69-2

Adres redakcji:
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy,
00-975 Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nakład 250 egz.

Druk i oprawa: Drukarnia Braci Grodzickich Sp.J., ul. Geodetów 47a, 05-500 Piaseczno

SPIS TREŚCI

Wstęp – <i>Anna Pasieczna</i>	5
Charakterystyka obszaru arkusza – <i>Anna Pasieczna</i>	5
Budowa geologiczna i złoża kopalin – <i>Katarzyna Strzezińska</i>	6
Antropopresja – <i>Anna Pasieczna</i>	6
Zakres i metodyka badań – <i>Anna Pasieczna</i>	7
Prace terenowe – <i>Anna Pasieczna</i>	7
Prace laboratoryjne – <i>Anna Pasieczna</i>	8
Bazy danych i konstrukcja map geochemicznych – <i>Anna Pasieczna,</i> <i>Agnieszka Konon, Kamil Bala, Angelika Szczypczyk</i>	8
Wyniki badań – <i>Anna Pasieczna</i>	9
Gleby	9
Osady	19
Wody powierzchniowe	20
Wnioski – <i>Anna Pasieczna</i>	21
Literatura	29
Tablice 1–63	

CONTENTS

Introduction – <i>Anna Pasieczna</i>	21
Characteristics of the map area – <i>Anna Pasieczna</i>	22
Geology and mineral deposits – <i>Katarzyna Strzezińska</i>	22
Human impact – <i>Anna Pasieczna</i>	23
Materials and methods – <i>Anna Pasieczna</i>	24
Field works – <i>Anna Pasieczna</i>	24
Laboratory works – <i>Anna Pasieczna</i>	24
Databases and geochemical maps construction – <i>Anna Pasieczna,</i> <i>Agnieszka Konon, Kamil Bala, Angelika Szczypczyk</i>	25
Results – <i>Anna Pasieczna</i>	26
Soils	26
Sediments	27
Surface water	28
Conclusions – <i>Anna Pasieczna</i>	29
References	29
Plates 1–63	

**SPIS TABLIC
LIST OF P LATES**

- | | | |
|--|---|---|
| <p>1. Mapa geologiczna
Geological map</p> <p>2. Zabudowa terenu
Land development</p> <p>3. Użytkowanie terenu
Land use</p> <p>4. Zawartość frakcji piaskowej (1,0–0,1 mm) w glebach (0,0–0,3 m)
Sand fraction (1.0–0.1 mm) in topsoil (0.0–0.3 m)</p> <p>5. Zawartość frakcji pyłowej (0,1–0,02 mm) w glebach (0,0–0,3 m)
Silt fraction (0.1–0.02 mm) in topsoil (0.0–0.3 m)</p> <p>6. Zawartość frakcji ilowej (<0,02 mm) w glebach (0,0–0,3 m)
Clay fraction (<0.02 mm) in topsoil (0.0–0.3 m)</p> <p>7. Odczyn gleb (0,0–0,3 m) i wód powierzchniowych
Acidity of topsoil (0.0–0.3 m) and surface water</p> <p>8. Odczyn gleb (0,8–1,0 m) i przewodność elektrolityczna właściwa wód powierzchniowych
Acidity of subsoil (0.8–1.0 m) and electrolytic conductivity of surface water</p> <p>9. Srebro w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Silver in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>10. Srebro w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Silver in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>11. Glin w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Aluminium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>12. Glin w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Aluminium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>13. Arsen w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Arsenic in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>14. Arsen w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Arsenic in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>15. Bor w wodach powierzchniowych
Boron in surface water</p> <p>16. Bar w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Barium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>17. Bar w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Barium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>18. Beryl w wodach powierzchniowych
Beryllium in surface water</p> <p>19. Całkowity węgiel organiczny w glebach (0,0–0,3 m)
Total organic carbon in topsoil (0.0–0.3 m)</p> <p>20. Wapń w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Calcium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>21. Wapń w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Calcium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> | <p>22. Kadm w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Cadmium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>23. Kadm w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Cadmium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>24. Kobalt w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Cobalt in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>25. Kobalt w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Cobalt in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>26. Chrom w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Chromium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>27. Chrom w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Chromium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>28. Miedź w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Copper in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>29. Miedź w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Copper in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>30. Żelazo w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Iron in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>31. Żelazo w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Iron in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>32. Rtęć w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Mercury in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>33. Rtęć w glebach (0,8–1,0 m)
Mercury in subsoil (0.8–1.0 m)</p> <p>34. Potas w wodach powierzchniowych
Potassium in surface water</p> <p>35. Lit w wodach powierzchniowych
Lithium in surface water</p> <p>36. Magnez w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Magnesium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>37. Magnez w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Magnesium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>38. Mangan w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Manganese in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>39. Mangan w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Manganese in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>40. Molibden w wodach powierzchniowych
Molybdenum in surface water</p> <p>41. Sód w wodach powierzchniowych
Sodium in surface water</p> <p>42. Nikiel w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Nickel in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>43. Nikiel w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Nickel in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> | <p>44. Fosfor w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Phosphorus in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>45. Fosfor w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Phosphorus in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>46. Ołów w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Lead in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>47. Ołów w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Lead in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>48. Siarka w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Sulphur in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>49. Siarka w glebach (0,8–1,0 m) i siarczany w wodach powierzchniowych
Sulphur in subsoil (0.8–1.0 m) and sulphates in surface water</p> <p>50. Antymon w wodach powierzchniowych
Antimony in surface water</p> <p>51. Selen w wodach powierzchniowych
Selenium in surface water</p> <p>52. Krzemionka w wodach powierzchniowych
Silica in surface water</p> <p>53. Stront w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Strontium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>54. Stront w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Strontium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>55. Tytan w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Titanium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>56. Tytan w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Titanium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>57. Tal w wodach powierzchniowych
Thallium in surface water</p> <p>58. Uran w wodach powierzchniowych
Uranium in surface water</p> <p>59. Wanad w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Vanadium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>60. Wanad w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Vanadium in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>61. Cynk w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach
Zinc in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments</p> <p>62. Cynk w glebach (0,8–1,0 m) i w wodach powierzchniowych
Zinc in subsoil (0.8–1.0 m) and in surface water</p> <p>63. Klasyfikacja gleb z głębokości 0,0–0,3 m ze względu na dopuszczalną zawartość kadmu
Topsoil (0.0–0.3 m) classification according to the permissible content of cadmium</p> |
|--|---|---|

WSTĘP

Zdjęcie geochemiczne w skali 1:25 000 na arkuszu Tarnowskie Góry M-34-50-D-a jest kontynuacją szczegółowych prac kartograficznych, zapoczątkowanych w latach 1996–1999 opracowaniem pilotowego arkusza Sławków M-34-63-B-b Szczegółowej mapy geochemicznej Górnego Śląska (Lis, Pasieczna, 1999). Do 2016 r. w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) opracowano 17 arkuszy opublikowanych w formie oddzielnych atlasów. Wszystkie prace sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej po akceptacji Ministerstwa Środowiska (obecnie Ministerstwa Klimatu i Środowiska).

Przeważająca część obszaru arkusza obejmuje teren miasta Tarnowskie Góry, położonego w środkowej części województwa śląskiego. Historia miasta jest związana z wydobywaniem rud srebra, ołowiu i cynku, rozwijającym się z największą intensywnością od XVII do XIX w. i zakończonym na początku XX w. po wyczerpaniu zasobów rud. Zakłady związane z górnictwem rudnym zostały zlikwidowane, a zachowane obiekty pogórniczne o wartości muzealnej znajdują się od 2017 r. na liście światowego dziedzictwa UNESCO. Najcenniejsza jest Zabytkowa Kopalnia Srebra, w skład której wchodzi wyrobiska historycznej kopalni rud Fryderyk oraz odcinek jednej z odwadniających ją sztolni noszący nazwę Sztolni Czarnego Pstrąga. Zabytkowy charakter mają też XIX-wieczne hałdy popłuczkowe kopalni Fryderyk przy ul. Długiej w Tarnowskich Górach oraz w Bobrownikach Śląskich-Piekarach Rudnych w Parku Kunszt (Pawlak, Filak, 2017).

Głównym problemem ekologicznym miasta jest składowisko odpadów niebezpiecznych po byłych Zakładach Chemicznych (ZCH) Tarnowskie Góry oraz rozproszone w wielu miejscach hałdy odpadów pozostałe po eksploatacji rud, z których przenikają do gruntów i wód metale, arsen i siarka (Lis, Pasieczna, 1995a, b, 1997).

Wyniki badań geochemicznych w granicach terenu objętego arkuszem Tarnowskie Góry, zaprezentowane w formie kartograficznej wraz z obszernym komentarzem tekstowym i zestawieniami tabelarycznymi, przedstawiają aktualny stan jakości gleb, osadów cieków i zbiorników wodnych oraz wód powierzchniowych w porównaniu do naturalnego tła regionalnego oraz obowiązujących normatywów prawnych.

Zgromadzone informacje mogą być przydatne przy opiniowaniu projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, prowadzeniu postępowań związanych z wydawaniem decyzji o uwarunkowaniach środowiskowych i pozwoleń wodnoprawnych, ocenie zagrożeń dla środowiska gruntowo-wodnego oraz wypełnianiu obowiązku nałożonego na starostów ustawą Prawo ochrony środowiska, tj. prowadzeniu okresowych badań jakości gleby i ziemi w ramach monitoringu państwowego. Dane geochemiczne opracowania powinny być także wykorzystane przy sporządzaniu rejestrów historycznych zanieczyszczeń prowadzonych przez Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska (zgodnie z ustawą POŚ) oraz przy prowadzeniu Ocen Oddziaływania na Środowisko (a w szczególności przy ocenie oddziaływania skumulowanego).

Wersja elektroniczna atlasu jest dostępna pod adresem <http://www.mapgeochem.pgi.gov.pl>

W realizacji opracowania brali udział:

- **A. Pasieczna** – koncepcja i projekt badań;
- **A. Konon** – nadzór i koordynacja prac;
- **A. Biel, P. Kaszycki, J. Szyborska-Kaszycka** – pobieranie próbek;
- **K. Bala, T. Kolecki, A. Konon, W. Markowski, A. Pasieczna** – bazy danych;
- **D. Karmasz, A. Maksymowicz, M. Stasiuk, A. Sztuczyńska** – kierownictwo i koordynacja prac analitycznych;
- **L. Andrzejewski, M. Cichorski** – mechaniczne przygotowanie próbek do analiz;
- **M. Bialecka, E. Kalwa** – chemiczne przygotowanie próbek do analiz;

- **J. Gąsior, B. Kamińska, M. Stasiuk** – oznaczanie zawartości węgla organicznego metodą wysokotemperaturowego spalania z detekcją IR;
- **M. Bellok, M. Bialecka, E. Kalwa, A. Maksymowicz** – oznaczanie pH;
- **J. Duszyński, E. Górecka, D. Karmasz, D. Lech** – oznaczanie zawartości rtęci metodą CV-AAS;
- **W. Bureć-Drewniak, J. Kucharzyk, D. Karmasz, D. Lech, J. Retka** – oznaczanie zawartości pierwiastków głównych i śladowych metodami ICP-OES i ICP-MS;
- **M. Cyglicki, A. Grabowska, A. Ilska, K. Szewczuk, A. Trojanowska** – analizy granulometryczne;
- **A. Konon, A. Pasieczna** – obliczenia statystyczne;
- **K. Bala, A. Konon, A. Pasieczna, A. Szczypczyk** – opracowanie map geochemicznych;
- **A. Pasieczna** – opracowanie części tekstowej atlasu.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU ARKUSZA

Położenie geograficzne i administracyjne. Teren objęty arkuszem Tarnowskie Góry M-34-50-D-a jest położony w większości na Wyżynie Śląskiej w obrębie jednostki niższego rzędu Garbu Tarnogórskiego, a częściowo na Nizinie Śląskiej w obrębie jednostki niższego rzędu – Równiny Opolskiej (Kondracki, 2009).

W granicach analizowanego obszaru są zlokalizowane dzielnice Tarnowskich Gór (miasta na prawach powiatu) – Strzybnica, Rybna, Opatowice, Śródmieście-Centrum, Stare Tarnowice, Repty Śląskie, Osada Jana, Bobrowniki Śląskie-Piekarzy Rudne, Sowice oraz część dzielnic Lasowice i Pniowiec. Północny fragment terenu arkusza w gminie Tworóg oraz jego część zachodnia w gminie Zbrosławice, należą do powiatu tarnogórskiego (tabl. 1–63).

Ukształtowanie powierzchni, geomorfologia, hydrografia. Powierzchnia arkusza obniża się w kierunku północno-zachodnim (od 327 m n.p.m. na wzgórzu między Osiedlem PKP i ulicą Repecką w Tarnowskich Górach do 254 m n.p.m. w dolnym odcinku doliny Stoły). Przez jego środkową część przepływa Stoła (dopływ Małej Panwi), północną odwadnia potok Pniowiec (dopływ Stoły), a południową Drama (dopływ Kłodnicy), należące do zlewni Odry. W dolnej, podmokłej części terenu zlewni Pniowca występują rozlewiska i niewielkie zbiorniki wód stojących.

W południowej i wschodniej części analizowanego obszaru pagórkowata rzeźba terenu jest silnie przekształcona w wyniku wielowiekowego górnictwa rud Zn-Pb i trudna do odtworzenia. Jej cechą charakterystyczną są liczne formy krajobrazu pogórniczego: hałdy, garby, nasypy i przekopy, okrągłe niecki po odkrywkach, zagłębienia o kształcie leja po starych szybach (warpie). Część północną, bardziej płaską, porastają lasy.

Zabudowa i użytkowanie terenu. Sposób użytkowania i zabudowy jest odmienny w różnych częściach analizowanego obszaru: w większości teren ma charakter rolniczo-leśny (tabl. 2–3). Tereny użytków rolnych (pól uprawnych i łąk) oraz lasów zajmują odpowiednio 38 i 33% powierzchni arkusza. Około 17% powierzchni przypada na tereny zajęte przez zabudowę miejską (mieszkaniową, usługi i handel), 7% przez wiejską i 4% przez przemysłową. Tereny miejsko-przemysłowe są zgrupowane głównie w południowo-wschodniej części powierzchni arkusza. We wschodniej części obszaru arkusza Tarnowskie Góry – Miasteczko Śląskie jest zlokalizowany największy w Polsce kolejowy węzeł przeładunkowy (o długości 8,5 km). Jego torowiska i nasypy, a także transportowane ładunki powodują zanieczyszczenia przylegających terenów. Inne rodzaje użytkowania terenu to pasy zieleni drogowej, trawniki i parki miejskie, ogródki działkowe i zbiorniki wodne.

Gospodarka. W południowo-wschodniej części Tarnowskich Gór (w dzielnicach Bobrowniki Śląskie-Piekarzy Rudne, Śródmieście-Centrum, Repty Śląskie i Stare Tarnowice) przez kilka stuleci eksploatowano złoża rud Zn-Pb. Roboty górnicze prowadzono od wczesnego średniowiecza korzystając z powierzchniowych partii złóż (Nowak, 1927; Grzechnik, 1978) do 1933 r., kiedy również złoża wydobywane ze znacznych głębokości uznano za wyczerpane i 800-letnia historia górnictwa tarnogórskiego dobiegła końca (Jendruś, 2015).

W połowie XVI w. wydobywanie obejmowało przede wszystkim pokłady położone na głębokości 30–40 m pod powierzchnią terenu, powstała więc sieć chodników i sztolni odwadniających. Najstarsza eksploatacja skupiała się głównie na pozyskiwaniu srebronośnej galeny, a w XIX i XX w. wydobywano też galman, limonit (żelaziak brunatny) i dolomit (Rzeczycki, 2008). Rudy Zn-Pb wydobywane w Bobrownikach Śląskich w kopalni Fryderyk w latach 1786–1862 przetwarzano w hucie Fryderyk (w Strzybnicy) pozyskując srebro i ołów, a w okresie 1863–1886 unowocześniono technologię przetwarzania rud pozyskując również cynk (Huta Fryderyk...). Likwidacja huty nastąpiła w 1937 r., a po II wojnie światowej w jej miejscu uruchomiono odlewnię żeliwa, przekształconą później w Zakłady Metalowe Strzybnica, a następnie w Zakłady Mechaniczne Przemysłu Metali Nieżelaznych Zamet.

W XIII–XIV w. wydobywanie prowadzono w okolicach Suchej Góry i Srebrnej Góry, a od początku XVI w. przedmiotem zainteresowania były złoża między Reptami a Tarnowicami oraz w Lasowicach (Degenhardt, 1870). W rejonie dawnej osady Srebrna Góra kopalnia Segiet działała do 1927 r. (Statystyka..., 1928). W połowie XVI w. Tarnowskie Góry były jednym z największych ośrodków górnictwa kruszcowego w Europie (Piernikarczyk, 1984). Intensywna eksploatacja trwała ok. 90 lat, a szyby wydobywcze nie były głębokie i zlokalizowane blisko siebie (Nowak, 1927). Na początku XVII w. górnictwo mocno podupadło z powodu trudności z odwadnianiem wyrobisk (Molenda, 1960, 1972), a kolejny etap wydobywania rud wiąże się z zastosowaniem systemu odwadniania głębszych partii złóż za pomocą sztolni i przepompowni (Piernikarczyk, 1926, 1933). Ten nowocześniejszy sposób odprowadzania wód stosowano w kopalni Fryderyk, działającej w latach 1784–1910. Po tej eksploatacji pozostało ok. 185 km bieżących wyrobisk korytarzowych, komory, sztolnie i ok. 20 tys. szybów (Jendruś, 2015).

W latach 1924–1925 rozpoczęły działalność Zakłady Chemiczne (ZCH) Tarnowskie Góry w miejscu gdzie poprzednio wydobywano rudy srebra i ołowiu, później prowadzono produkcję alunu glinowo-potasowego i kwasu siarkowego, a kolejnym etapem było uruchomienie huty żelaza i papierni. Produkcję w ZCH Tarnowskie Góry rozpoczęto od wytwarzania litoponu (białego pigmentu, który jest mieszaniną siarczku cynku ZnS i siarczynu baru BaSO₄). W kolejnych latach w zakładach produkowano farby olejne, lakiery, dwuchromian sodu, chlorek baru, siarczek baru, azotan baru, siarczan baru, kwas borowy, boraks, siarczan glinu, siarczan miedzi. W dalszych etapach uruchomiono produkcję tlenku cynku, azotanu cynku, siarczynu cynku, nadboranu sodu, boraksu i kwasu borowego. Po II wojnie światowej produkowano litopon, odczynniki strontowe oraz związki baru, cynku i boru.

W produkcji stosowano substancje uważane za szkodliwe (baryt; kwasy: azotowy, fosforowy, siarkowy, solny, szczawiowy; ług sodowy)(Majer, 2004). Produkcja związków baru i boru trwała też po II wojnie światowej. Po tej produkcji pozostało składowisko odpadów niebezpiecznych stanowiące problem ekologiczny miasta. Jest zlokalizowane w rejonie Czarnej Huty w dolinie Stoły. Przez wiele lat odpady po produkcji lokowano tu na zwałowiskach wokół zakładu, bez wykonania zabezpieczeń podłoża (Zakłady..., 2017).

Do innych ważniejszych zakładów przemysłowych na terenie Tarnowskich Gór należą: fabryka sprzętu ratunkowego i lamp górniczych FASER, fabryka maszyn i urządzeń TAGOR, zakłady CHEMET – największy w Polsce producent

zbiorników ciśnieniowych gazu, zakłady budowy maszyn ZAMET, EMA Electrocarbon – fabryka podzespołów elektrotechnicznych, oraz galvanizernie i ocynkownie.

BUDOWA GEOLOGICZNA I ZŁOŻA KOPALIN

Obszar objęty arkuszem wchodzi w skład północnej części zapadliska górnośląskiego, rozległej niecki wypełnionej osadami dewonu i karbonu, które są przykryte utworami permu, triasu, neogenu i czwartorzędu (Buła, Kotas, red., 1994). Południowa część obszaru arkusza, należy do Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), a część północna jest zaliczana do jego obrzeżenia (Jureczka i in., 2005).

Podłożem utworów węglonośnych karbonu są osady warstw malinowickich (wizen górny – namur A), określane jako kulm. Budują je bezwęglowe skały ilasto-mułowcowe z przewarstwieniami piaskowców drobnoziarnistych.

Utwory produktywnego karbonu górnego stanowią kompleks piaskowcowo-mułowcowo-iłowcowy serii paralicznej warstw brzeżnych (namur A), charakteryzujący się cyklicznością sedymentacji (Jureczka i in., 2005). Są zbudowane z piaskowców oraz osadów ilasto-mułowcowych z przewarstwieniami cienkich pokładów i warstw węgla, łupków węglowych, a sporadycznie także łupków sapropelowych. Są to osady deponowane w warunkach lądowych i przybrzeżnych, z okresowymi zalewaniami morskimi, które potwierdza występowanie w profilu serii fauny morskiej obok licznych wkładek z fauną słodkowodną. Spągową granicę serii wyznacza strop tzw. poziomu morskiego Stur (XVI), odznaczającego się nagromadzeniem fauny morskiej w skałach klastycznych, a stropową spąg pokładu węgla kamiennego 510. Maksymalną miąższość, sięgającą 600 m, utwory serii paralicznej osiągają w południowo-zachodniej części arkusza; wyklinowują się ku północy i na wysokości miasta Tarnowskie Góry wyznaczają północną granicę GZW. Na przeważającej części obszaru arkusza osady karbonu są przykryte utworami permu, a lokalnie osadami triasu.

Piaskowce, zlepieńce, iłowce i mułowce **permu** wypełniają rów tektoniczny niecki Tarnowskich Gór. Należy ona do większej jednostki – rowu Sławkowa, który stanowi północne i północno-wschodnie obrzeżenie GZW (Siedlecka, 1964; Kiersnowski, 1991). Sumaryczna miąższość utworów molasy permskiej na obszarze arkusza przekracza 500 m. Utwory permu nawiercone w rejonie na wschód od Tarnowskich Gór to mułowce ze skupieniami piryty, piaskowce i margle przechodzące w łupki ilaste, przykryte naprzemianległymi seriami zlepieńców i piaskowców. Zlepieńce są zbudowane z otoczków wapieni dewońskich, kwarcytów, porfirów i melafirów, a w ich spoiwie występują tufy (Zero, 1968). Opisywany kompleks osadów, wcześniej zaliczany do czerwonego spągowca (Siedlecka, 1964), jest wydzielony jako formacja bolesławska, stratygraficznie należąca do cechsztynu (Kiersnowski, 1991). Osady dolnopermskie (formacja Sławkowa) są notowane w niecce tarnogórskiej fragmentarycznie, jako izolowane wystąpienia pozostałe po okresie intensywnej erozji.

Utwory **triasu** występują w nadkładzie osadów karbonu lub permu na obszarze całego arkusza, tworząc w jego środkowej i południowo-wschodniej części niewielkie, rozczłonkowane wychodnie (tabl. 1). Miąższość osadów triasu dolnego i środkowego jest uwarunkowana tektoniką i rzeźbą powierzchni utworów starszych, sięgając ok. 250 m w części północno-zachodniej obszaru badań.

Utwory triasu dolnego to piaski, piaskowce, iły, iłowce i mułowce terygeniczných warstw świerklanieckich nieodslaniające się na powierzchni terenu w obrębie arkusza. Osady triasu środkowego, charakterystyczne dla facji epikontynentalnej, nazywanej wapieniem muszlowym, budują wzgórza w środkowej i południowo-wschodniej części arkusza. Profil osadów triasu środkowego rozpoczynają morskie osady, wcześniej określane jako utwory retu, wykształcone w facji marglisto-

dolomitycznej o miąższości 30–50 m (Kotlicki, 1995). Nad tą serią występują wapienie (pelitowe, faliste, dolomityczne) zaliczone do warstw błotnickich i warstw gogolińskich. Ich łączna miąższość mieści się w przedziale 40–60 m, a wychodnie występują na stokach wzgórz w południowo-wschodniej części arkusza.

Nad warstwami gogolińskimi zalega warstwa dolomitów kruszonośnych o miąższości ok. 20–40 m. Są to skały epigenetyczne, powstałe w następstwie hydrotermalnego przeobrażenia wapieni, głównie warstw gorazdeckich, a także terebratulowych i karchowickich. Dolomity (rzadziej wapienie) są skryształizowane w różnym stopniu. Charakteryzują je silne spękania oraz obecność nieregularnych kawern, często wypełnionych minerałami ołowiu, cynku i żelaza (galena, sfaleryt, piryty, markasyt). Na wychodniach dolomitów kruszonośnych siarczki metali ulegają utlenianiu i koncentrują się jako galmany, często razem z rudami żelaza (limonitami).

Wapienie i margle warstw górażdzańskich, terebratulowych i karchowickich, występujące w profilu nad dolomitami kruszonośnymi na opisywanym obszarze, niemal całkowicie uległy metasomatozie i wchodzi w skład dolomitów kruszonośnych.

Dolomity diploporowe (warstwy jemielnickie) oraz dolomity i wapienie warstw tarnowickich odsłaniają się na powierzchni w południowej części arkusza (Stare Tarnowice i Repty), a wapienie, dolomity, iły, iłowce, mułowce i łupki (składające się na warstwy rybniańskie, boruszowickie i miedarskie) w jego środkowej części.

Utwory **neogenu** tworzące wychodnie w rejonie osiedla Bobrowniki (tabl. 1), w profilach otworów wiertniczych osiągają miąższość do ok. 34 metrów. Tworzą je regolity zgromadzone w lejach i kominach krasowych, rozwiniętych w stropie skał węglanowych triasu, szczególnie w strefach wychodni wapieni gogolińskich i górażdzańskich. Są to gliny, piaski, mułki i iły o pstrych barwach. Lokalne nagromadzenia tych utworów w postaci rud limonitowych, galmanów i glinek ogniotrwałych były przedmiotem intensywnej eksploatacji w XIX w.

Osady **czwartorzędu** pokrywają ponad 85% powierzchni obszaru arkusza; a ich rozprzestrzenienie i miąższość wzrasta w kierunku północnym (do 40 m w kopalnej dolinie Stoły). Są to plejstoceny gliny zwałowe i zwietrzelinowe, piaski i żwiry rzeczno-lodowcowe i wodnolodowcowe oraz iły i mułki zastoiskowe. Piaski, żwiry, głazy i gliny zwałowe moren czołowych budują wzniesienia w południowej i środkowej części arkusza, układając się w łańcuch moren czołowych, które wyznaczały strefę postoju czoła lodolodu podczas jego maksymalnego zasięgu. Utwory czwartorzędu nierozdzielonego to piaski, mułki i gliny deluwialne, o miąższości nieprzekraczającej kilku metrów. W północno-wschodniej części obszaru arkusza, na terenie rozległego sandru, powszechnie występują wydmy i cienkie pokrywy piasków eolicznych porośnięte lasem. Osady holoceny występują jedynie w dolinach współczesnych rzek. Są to piaski, żwiry i mułki rzeczne tarasów zalewowych, o miąższości maksymalnie do 8 m, namuły den dolinnych (mułki piaszczyste z dużą ilością substancji humusowej), o miąższości 2–4 m oraz sporadycznie torfy.

Złoża kopalin. Na obszarze objętym arkuszem są udokumentowane 4 złoża kopalin: iłów, glin, piasków formierskich i piasków podsadzkowych (Szuflicki i in., red., 2020). Informacje dotyczące parametrów złóż oraz parametrów jakościowych kopalin zacytowano za dokumentacjami geologicznymi poszczególnych złóż oraz systemu gospodarki i ochrony bogactw mineralnych (MIDAS).

Kilkuhektarowe złoża **surowców ilastych ceramiki budowlanej** to złoża czwartorzędowych glin Bobrowniki i złoża iłów triasu środkowego Rybna. W złożu Bobrowniki gliny o miąższości od 2,8 do 12,7 m występują bezpośrednio na powierzchni terenu, bądź pod nadkładem do 3,2 m. W złożu Rybna, udokumentowanym w dwóch polach iły o miąższości od 5 do 19 m występują bezpośrednio na powierzchni lub pod nadkładem (średnio 0,4 m). Surowiec o dobrych parametrach technologicznych wykorzystywano w okolicznych cegielniach do produkcji cegły i wyrobów cienkościennej. Pozostałością po licznych wyrobiskach są dziś stawy, głównie hodowlane.

W północnej części arkusza w dwóch polach na obszarze ok. 629 ha udokumentowano wstępnie (w kat. C₂) złoża **piasków podsadzkowych** Strzybnica. Bezsrednio na powierzchni terenu lub pod niewielkim nadkładem (max. 1,0 m) występuje tu pokład piasków kwarcowych o miąższości sięgającej 15 m. Zasoby złoża wynoszą ok. 33,4 mln m³. Ze względu na dobre parametry kruszywo było wykorzystywane przez dziesięciolecia jako materiał podsadzkowy w kopalniach węgla kamiennego. Złoża pozostają niezagospodarowane.

W południowo-wschodniej części arkusza udokumentowano złoża piasków formierskich Bobrowniki o powierzchni ok. 4 ha. Pod niewielkim nadkładem występuje kruszywo piaskowo-żwirowe o miąższości sięgającej 10 m. Złoża jest niezagospodarowane.

Złoża rud cynku i ołowiu mają znaczenie historyczne (Molenda, 1960, 1972; Majorczyk, 1985, 1986). Wyeksploatowane złoża występowały w dolomitach kruszonośnych triasu i należały do największych i najbogatszych złóż rud Zn-Pb w skali świata (Szuwarzyński, 1996; Paulo, Strzelska-Smakowska, 2000), a obecnie nie są już wykazywane w krajowym bilansie zasobów. Pozostałością po wielowiekowej eksploatacji dolomitów kruszonośnych są liczne hałdy pogórnice, najczęściej słabo zaznaczające się w terenie z uwagi na upływ czasu.

ANTROPOPRESJA

Problemy środowiskowe omawianego obszaru są konsekwencją działalności przemysłowej (głównie historycznej), a w mniejszym stopniu urbanizacji, które doprowadziły do zmian krajobrazu i sieci hydrograficznej oraz zanieczyszczenia naturalnego środowiska przyrodniczego. Teren arkusza w wielu miejscach jest silnie przekształcony w wyniku eksploatacji i przetwórstwa rud Zn-Pb oraz rud żelaza, sięgających wczesnego średniowiecza. Po tej działalności pozostały szyby, sztolnie, wyrobiska podziemne i hałdy odpadów popłuczkowych. Zdegradowane rejon są poddawane stopniowo rekultywacji poprzez zalesianie i likwidowanie hałd odpadów. Systematycznie są też unieszkodliwiane odpady niebezpieczne Zakładów Chemicznych (ZCH) Tarnowskie Góry.

Powietrze atmosferyczne. Głównym problemem w zakresie zanieczyszczenia powietrza jest emisja niska wiążąca się ze spalaniem paliw w piecach domowych i małych zakładach przemysłowych, skutkująca przekroczeniami stężeń pyłów PM_{2,5} i PM₁₀. Od wielu lat dopuszczalne limity przekraczają stężenia benzo(a)pirenu, pomimo zaznaczającego się systematycznego spadku (Program..., 2016). Te składniki dostają się do powietrza w wyniku funkcjonowania kotłowni przedsiębiorstw ciepłowniczych, kotłowni lokalnych i przemysłowych oraz ze źródeł komunikacyjnych.

Linijowe zanieczyszczenia powietrza, pochodzące ze środków komunikacji samochodowej, zależą od intensywności ruchu. Na niekorzystne zmiany jakości powietrza najbardziej są narażone tereny w otoczeniu dróg krajowych 11 i 78 oraz drogi wojewódzkiej 908.

Według corocznej oceny jakości powietrza przeprowadzanej przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ), na obszarze województwa śląskiego emisja zanieczyszczeń pyłowych i gazowych (bez CO₂) systematycznie maleje. Dominującym zanieczyszczeniem gazowym jest jednak dwutlenek węgla stanowiący 98,2% ogólnej emisji gazów (Stan..., 2020). Poza nim w zanieczyszczeniach gazowych znaczący udział ma metan, tlenek węgla i dwutlenek siarki. Istotna jest też emisja dwutlenku azotu, pochodząca ze środków transportu. W warunkach wysokiej temperatury i promieniowania słonecznego występują przekroczenia zawartości ozonu. Z zakładów przemysłowych różnych branż pochodzą emisje związków organicznych (m.in. węglowodorów aromatycznych i rozpuszczalników, formaldehydu, fenolu) oraz metali ciężkich. Emisja odorów (mieszanki np. siar-

kowodoru, siarczku dimetylu, sulfidów, amin, aldehydów i in.) występuje głównie w otoczeniu oczyszczalni ścieków, składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych.

Wody powierzchniowe i podziemne. Stan chemiczny wód powierzchniowych jest określany jako niekorzystny (Stan..., 2020). Są one zanieczyszczone zrzutami ścieków z oczyszczalni, ścieków socjalno-bytowych z zabudowy mieszkaniowej i ścieków deszczowych. Kompleksowe programy porządkowania gospodarki wodno-ściekowej powinny wkrótce skutkować zmniejszeniem poziomu zanieczyszczeń.

Wody Stoły i Dramy, głównych cieków odwadniających teren arkusza, charakteryzują się wysokim zanieczyszczeniem. Ich największym obciążeniem są związki biogenne oraz związki różnych form azotu (Program..., 2016). W wodach Stoły są przekroczone też wartości dopuszczalne WWA, cynku, kadmu, talu i ołowiu. Wody potoku Pniowiec (dopływu Stoły) charakteryzuje potencjał poniżej dobrego z uwagi na warunki tlenowe, zasolenie, zakwaszenie i zawartość substancji biogennych (Projekt...).

Wody podziemne charakteryzują się średnim i złym stanem jakościowym. Są one zanieczyszczone przez azotany, amoniak, wapń, tlenki metali, trichloroetylen i tetrachloroetylen (Program..., 2016).

Czwartorzędowe piętro wodonośne nie ma większego znaczenia użytkowego. Piętro triasowe jest odkryte lub częściowo przykryte utworami czwartorzędu i zasilane na drodze infiltracji opadów atmosferycznych bezpośrednio na obszarach wychodni oraz przez przepuszczalne utwory czwartorzędu. Wody głównego zbiornika triasowych wód podziemnych (Gliwice – GZWP nr 330) zostały zanieczyszczone dichloroetanem i tetrachloroetanem przez Zakłady Chemiczne (ZCH) Tarnowskie Góry (Szadkowska, Gwóźdź, 2015; Mikołajków, Sadurski, red., 2017). Zwierciadło karbońskiego piętra wodonośnego jest zdegradowane i obniżone na skutek drenażu górniczego (Razowska-Jaworek, Brodziński, 2016).

Gleby są w wielu rejonach, a szczególnie w części południowo-wschodniej arkusza, zanieczyszczone metalami ciężkimi, z powodu wielowiekowego wydobycia i przetwarzania rud metali (Wieczorek, 2009). Ze względu na średnią lub dobrą przepuszczalność jest możliwe przemieszczanie z nich szkodliwych składników do wód podziemnych wraz z wodami infiltrującymi (Bystrzanowski i in., 2015).

W miejscach gromadzenia odpadów gleby bardzo często nie posiadają w pełni wykształconego profilu, były wielokrotnie przekopane i przesuszane, a składniki naturalne są w nich przemieszane z materiałami obcymi. Do rozprzestrzeniania zanieczyszczeń przenikających do gleb przyczynia się wykorzystywanie odpadów górniczych w rekultywacji terenów przemysłowych, budownictwie drogowym i wodnym. Do najsilniej zanieczyszczonych kadm, cynkiem i ołowiem należą gleby obszarów miejskich Tarnowskich Gór (Lis, Pasieczna, 1995b; Pasieczna, 2003).

Składowiska odpadów i tereny po likwidacji robót górniczych. Po działalności górnictwa rud Zn-Pb i rud żelaza w wielu miejscach obszaru objętego arkuszem pozostały hałdy odpadów (skał płonnych, osadów popłuczkowych oraz żużli z wytopu srebra, ołowiu i cynku). Są w nich skumulowane takie pierwiastki jak As, Cd, Pb, Tl i Zn zawarte zarówno w minerałach kruszczowych, jak i we wtórnych fazach mineralnych (Cabała, 1996, 2009; Cabała, Teper, 2007). W długim okresie składowanie prowadzi do uwalniania tych pierwiastków w związkach rozpuszczalnych stanowiących zagrożenie dla środowiska przyrodniczego (Bauerek i in., 2017). Skupiska hałd i osadników o znaczących powierzchniach (sięgających 1 km²) są zlokalizowane głównie we wschodniej części arkusza.

Do szczególnie szkodliwych dla środowiska należy zaliczyć składowiska odpadów poprodukcyjnych Zakładów Chemicznych (ZCH) Tarnowskie Góry. Zawierają one w swoim składzie trucizny (rozpuszczalne związki baru i strontu) lub środki szkodliwe (związki boru, cynku, miedzi). Odpady poprodukcyjne (w ilości ok. 1,2 mln m³) przez ponad 70 lat (1922–1995) lokowano na zwałowiskach na terenie i w sąsiedztwie zakładów, bez wykonania jakichkolwiek zabezpieczeń (Zakłady..., 2017). Zawarte w nich związki chemiczne poddane działaniu czynników

atmosferycznych, powodują przenikanie boru, baru, strontu, arsenu, miedzi, cynku do gleb, wód powierzchniowych i podziemnych i stwarzają bezpośrednie zagrożenie dla Głównego Zbiornika Wód Podziemnych Gliwice, stanowiącego rezerwuuar wody pitnej dla mieszkańców województwa śląskiego. W latach 2000–2011 unieszkodliwiono ok. 1 mln m³ tych niebezpiecznych odpadów.

Inny rodzaj realnego zagrożenia dla powierzchni terenu stanowią zlikwidowane wyrobiska po historycznej eksploatacji rudnej. Wyrobiska korytarzowe i komory likwidowano poprzez zawał, szyby zasypywano a miejsca ich lokalizacji są często zapomniane i nieoznakowane, stanowiąc niebezpieczne tereny dla współcześnie budowanych obiektów.

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania wykonane w latach 2017–2021 obejmowały studium materiałów publikowanych i archiwalnych, wyznaczenie miejsc pobierania próbek gleb na mapach topograficznych w skali 1 : 10 000, pobranie próbek gleb, osadów i wód powierzchniowych, pomiary współrzędnych w miejscach ich lokalizacji, pomiary odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej wód powierzchniowych w terenie, analizy chemiczne próbek, utworzenie baz danych terenowych i laboratoryjnych, obliczenia statystyczne wyników analiz chemicznych, opracowanie podkładu topograficznego, opracowanie mapy geologicznej i map geochemicznych oraz interpretację wyników. Kolejność prac ilustruje załączony schemat (fig. 1).

PRACE TERENOWE

Próbki gleb pobierano w regularnej siatce 250×250 m (16 próbek/km²). Lokalizację miejsc opróbowania dokumentują mapy przedstawiające jednocześnie zabudowę i użytkowanie terenu (tabl. 2–3). Łącznie pobrano 1330 próbek z głębokości 0,0–0,3 m oraz 1290 próbek z głębokości 0,8–1,0 m. W przypadku płytszego zalegania podłoża pobierano próbkę o miąższości 20 cm tuż nad skałą macierzystą. Próbki gleb (o masie ok. 500 g), pobierane za pomocą ręcznej sondy o średnicy 60 mm, umieszczano w woreczkach płóciennych opatrzonych odpowiednimi numerami i wstępnie suszono na drewnianych paletach w magazynie terenowym.

Próbki osadów i wód powierzchniowych (odpowiednio 296 i 219 próbek) pobierano z rzek, strumieni, rowów, kanałów, jezior, osadników, sadzawek i stawów. Odległość między miejscami pobierania próbek na ciekach wynosiła ok. 250 m. Punkty opróbowania wód powierzchniowych i osadów przedstawiono na kolejnych tablicach obrazujących ich zawartość w tych elementach środowiska zaczynając odpowiednio od tablic 7 i 9.

Próbki osadów o masie ok. 500 g (i możliwie najdrobniejszej frakcji) pobierano z brzegów zbiorników za pomocą czerpaka aluminiowego i umieszczano w pojemnikach plastikowych, o pojemności 500 ml, opisanych odpowiednimi numerami.

Próbki wód powierzchniowych pobierano z tych samych miejsc, z których pobrano próbki osadów. Przewodność elektrolityczną właściwą wód (EC) i ich odczyn (pH) mierzono w terenie. Do pomiarów EC stosowano konduktometr z automatyczną kompensacją temperaturową, przyjmując temperaturę referencyjną 25°C. Próbki wód były filtrowane w terenie przez filtry Milipore 0,45 μm, a po napełnieniu butelek o objętości 30 ml, zakwaszane kwasem azotowym. Butelki opisywano odpowiednimi numerami.

Miejsca pobrania wszystkich próbek zaznaczano na mapach topograficznych w skali 1 : 10 000 i opisywano odpowiednimi numerami.

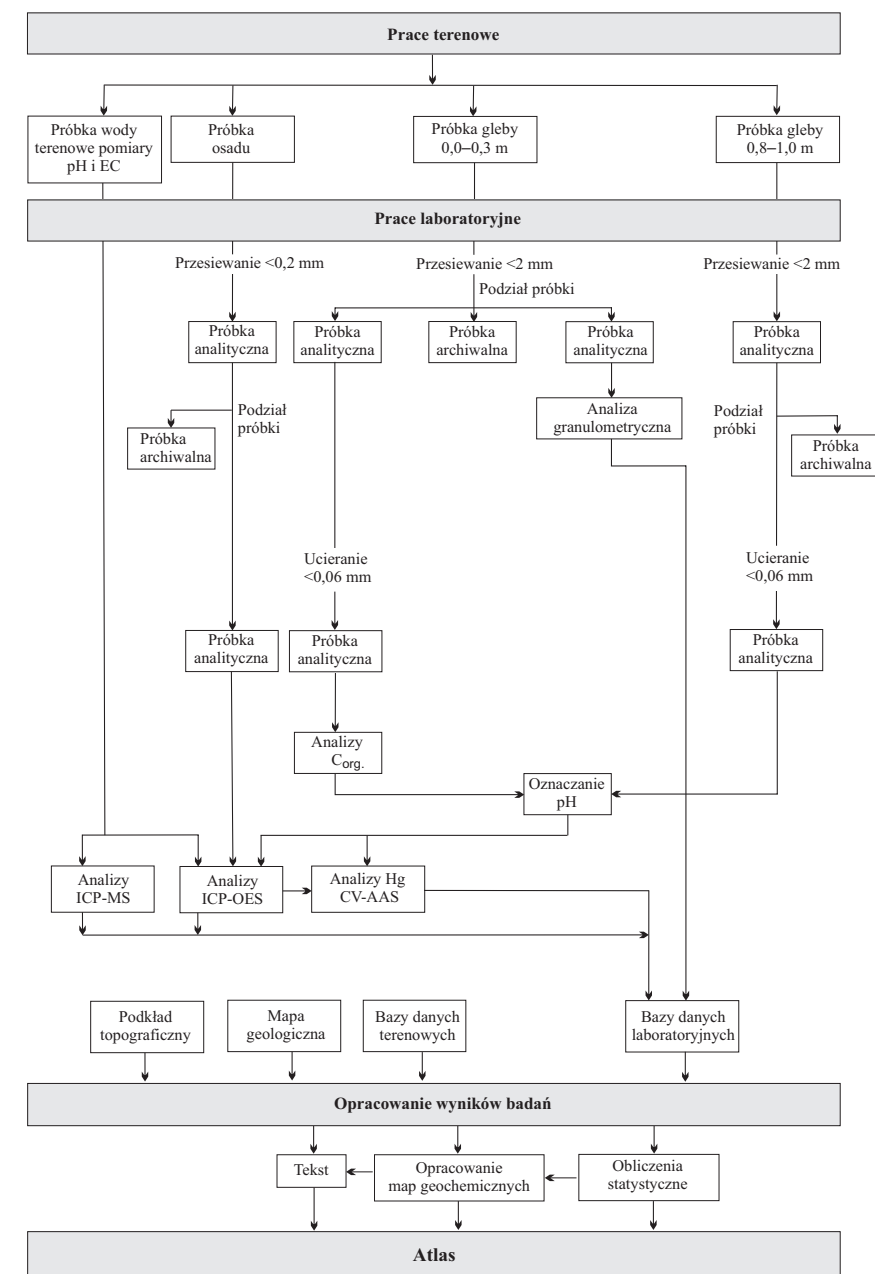


Fig. 1. Schemat wykonanych prac

Położenie miejsc pobierania próbek określono techniką GPS, stosując urządzenie umożliwiające oprócz pomiarów współrzędnych rejestrację dodatkowych informacji (wartości pH i EC wód, danych o zabudowie i użytkowaniu terenu oraz o charakterze litologicznym próbek). Pomiar współrzędnych rejestrowano z dokładnością ±2–10 m. Przed wyjazdem w teren do pamięci urządzenia GPS wprowadzono sieć współrzędnych miejsc pobierania próbek. Kolejne miejsca pobierania próbek były wyszukiwane w terenie metodą nawigacji satelitarnej. W celu uzyskania większego bezpieczeństwa wszystkie dane terenowe były notowane również na specjalnie przygotowanych kartach (fig. 2).

Tabela 1
Table

Metody analityczne i granice oznaczalności

Analytical methods and detection limits

Pierwiastek/ związek	Metoda analityczna	Jednostka	Granica oznaczalno- ści	Metoda analityczna	Jednostka	Granica oznaczalno- ści
Element/ compound	Analytical method	Unit	Detection limit	Analytical method	Unit	Detection limit
			Gleby, osady Soils, sediments		Wody powierzchniowe Surface water	
Ag	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Al	ICP-OES	%	0,01	ICP-MS	µg/dm ³	0,5
As	ICP-OES	mg/kg	3	ICP-MS	µg/dm ³	2
B				ICP-OES	mg/dm ³	0,01
Ba	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-OES	mg/dm ³	0,001
Be				ICP-MS	µg/dm ³	0,05
C _{org} (TOC)	*	%	0,02			
Ca	ICP-OES	%	0,01	ICP-OES	mg/dm ³	0,1
Cd	ICP-OES	mg/kg	0,5	ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Co	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Cr	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-OES	mg/dm ³	0,003
Cu	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Fe	ICP-OES	%	0,01	ICP-OES	mg/dm ³	0,01
Hg	CV-AAS	mg/kg	0,02			
K				ICP-OES	mg/dm ³	0,5
Li				ICP-MS	µg/dm ³	0,3
Mg	ICP-OES	%	0,01	ICP-OES	mg/dm ³	0,1
Mn	ICP-OES	mg/kg	2	ICP-OES	mg/dm ³	0,001
Mo				ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Na				ICP-OES	mg/dm ³	0,5
Ni	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-MS	µg/dm ³	0,5
P	ICP-OES	%	0,002	ICP-OES	mg/dm ³	0,05
Pb	ICP-OES	mg/kg	2	ICP-MS	µg/dm ³	0,05
S	ICP-OES	%	0,003			
Sb				ICP-MS	µg/dm ³	0,05
Se				ICP-MS	µg/dm ³	2
SiO ₂				ICP-OES	mg/dm ³	0,1
SO ₄				ICP-OES	mg/dm ³	1
Sr	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-OES	mg/dm ³	0,003
Ti	ICP-OES	mg/kg	5	ICP-OES	mg/dm ³	0,002
Tl				ICP-MS	µg/dm ³	0,05
U				ICP-MS	µg/dm ³	0,05
V	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-MS	µg/dm ³	1
Zn	ICP-OES	mg/kg	1	ICP-OES	mg/dm ³	0,003

ICP-OES – emisyjna spektrometria atomowa ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej
Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
ICP-MS – spektrometria mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej
Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
CV-AAS – absorpcyjna spektrometria atomowa z generowaniem zimnych par rtęci
Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry
* – wysokotemperaturowe spalanie z detekcją IR
high temperature combustion with IR detection

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1:25 000
Arkusz.....
Data.....
Opróbował.....

Nr próbki
1
2

Gleba
głębokość 0,0-0,3 m

Współrzędne
X
Y

Powiat.....Gmina.....Miejscowość.....

Zabudowa
1 brak
2 wiejska
3 miejska niska
4 miejska wysoka
5 przemysłowa

Użytkowanie
1 pole uprawne
2 las
3 łąka
4 nieużytek, ugór
5 trawnik
6 park
7 ogród

Próbka 1 2
1 piaszczysta, piasek
2 piaszczysto-gliniasta
3 gliniasto-piaszczysta
4 gliniasta
5 glina
6 mułek
7 torfiasta, torf
8 antropogeniczna, nasypowa

Uwagi:.....

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1:25 000
Arkusz.....
Data.....
Opróbował.....

Nr próbki
Osad 3
Woda 4

pH
EC

Współrzędne
X
Y

Powiat.....Gmina.....Miejscowość.....Nazwa zbiornika.....

Zabudowa
1 brak
2 wiejska
3 miejska niska
4 miejska wysoka
5 przemysłowa

Użytkowanie
1 pole uprawne
2 las
3 łąka
4 nieużytek, ugór
5 trawnik
6 park
7 ogród

Zbiornik
1 rzeka
2 strumień
3 kanał
4 rów
5 jezioro
6 sadzawka
7 staw rybny
8 osadnik

Osad
1 piasek
2 szlam organiczny
3 muł
4 il

Uwagi:.....

Fig. 2. Karty opróbowania gleb (A) oraz osadów i wód powierzchniowych (B)

PRACE LABORATORYJNE

Przygotowanie próbek do badań, oznaczenia parametrów fizykochemicznych oraz analizy chemiczne wykonano w laboratorium chemicznym PIG-PIB.

Przygotowanie próbek. Próbki gleb po przewiezieniu do laboratorium były suszone w temperaturze pokojowej i przesiewane przez sita nylonowe o oczkach 2 mm. Każdą próbkę gleby z głębokości 0,0–0,3 m, po przesianiu i kwartowaniu, dzielono na trzy podpróbki: jedną przeznaczoną do analizy chemicznej, drugą do analizy granulometrycznej i trzecią archiwalną. Każdą próbkę gleby z głębokości 0,8–1,0 m, po przesianiu i kwartowaniu, dzielono na dwie podpróbki: jedną przeznaczoną do analizy chemicznej, drugą archiwalną (fig. 1). Próbki gleb przeznaczone do analiz chemicznych ucierano do frakcji <0,06 mm w agatowych młynach kulowych.

Próbki osadów suszono w temperaturze pokojowej, a następnie przesiewano przez sita nylonowe o oczkach 0,2 mm. Frakcję <0,2 mm, po kwartowaniu, dzielono na dwie podpróbki: jedną przeznaczoną do analizy chemicznej i drugą archiwalną (fig. 1).

Próbki archiwalne zmagazynowano w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie.

Analizy chemiczne. Roztworzenie próbek gleb i osadów przeprowadzono w wodzie królewskiej (1 g próbki do końcowej objętości 50 ml) przez 1 godz. w temp. 95°C w termostatowanym bloku aluminiowym.

Oznaczenia zawartości Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V i Zn w glebach i osadach wykonano za pomocą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-OES). Analizy zawartości Hg w próbkach gleb i osadów przeprowadzono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generowaniem zimnych par rtęci (CV-AAS) w układzie przepływo-wo-wstrzykowym FIAS-100. Odczyn gleb oznaczono metodą potencjometryczną w zawieszynie H₂O, a oznaczenia zawartości węgla organicznego (C_{org}) w glebach metodą wysokotemperaturowego spalania z detekcją w podczerwieni IR. Oznaczenia zawartości B, Ba, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, SiO₂, SO₄, Sr, Ti i Zn w wodach powierzchniowych przeprowadzono metodą ICP-OES, a zawartości Ag, Al, As, Be, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, U i V metodą ICP-MS. Zestawienie metod analitycznych i granic oznaczalności pierwiastków przedstawiono w tabeli 1.

Kontrolę jakości wykonywanych oznaczeń prowadzono poprzez analizę próbek podwójnych (5% ogólnej liczby próbek), analizę materiałów odniesienia z atestowaną zawartością badanych pierwiastków (2% ogólnej liczby próbek) oraz analizę wewnętrznych próbek kontrolnych potwierdzających prawidłowe wykonywanie pomiarów instrumentalnych (5% ogólnej liczby próbek). Czystość odczynników i naczyń kontrolowano za pomocą „ślepych próbek odczynnikowych” i „ślepych próbek proceduralnych”.

Niepewność rozszerzona wyników (przy założonym poziomie prawdopodobieństwa 95% i współczynnika rozszerzenia k = 2) dla próbek wód, gleb i osadów nie przekracza 25%, z wyjątkiem niepewności rozszerzonej dla zawartości rtęci w próbkach gleb i osadów oraz zawartości węgla organicznego w próbkach gleb, która wynosi 30%.

Analizy granulometryczne gleb z głębokości 0,0–0,3 m wykonano w Centrum Badań Gruntów i Skał PIG-PIB w Warszawie. Badanie składu ziarnowego przeprowadzono metodą sitową zgodnie z instrukcją opracowania map geochemicznych i wytycznymi norm PN-R-04033 oraz BN-78/9180-11.

Po utlenieniu materii organicznej próbek (przez zastosowanie nadtlenu wodoru) przesiewano je przez kolumnę sit o wymiarach oczek: 1 mm, 0,1 mm, 0,02 mm i ważono uzyskane frakcje: 2–1 mm, 1,0–0,1 mm i <0,02 mm.

Wyniki analiz granulometrycznych (po przeliczeniu na udziały procentowe) przedstawiono na mapach klas ziarnowych: 1,0–0,1 mm frakcja piaszkowa, 0,1–0,02 mm frakcja pyłowa, <0,02 mm frakcja iłowa (tabl. 4–6).

BAZY DANYCH I KONSTRUKCJA MAP GEOCHEMICZNYCH

Podkład topograficzny. Jako podkładu map geochemicznych w skali 1:25 000 użyto najbardziej aktualnej mapy topograficznej w skali 1:50 000 w układzie współrzędnych 1992, arkusz Bytom M-34-50-D (zapis wektorowy VMap L2). Mapa topograficzna zawiera następujące wektorowe warstwy informacyjne:

- rzeźba terenu;
- hydrografia (z podziałem na rzeki, strumienie, rowy i zbiorniki wód stojących);
- sieć komunikacji drogowej (z podziałem według klas);
- sieć kolejowa;

- zabudowa terenu (z podziałem na zabudowę wiejską, miejską oraz przemysłową);
- lasy;
- tereny przemysłowe (obiekty przemysłowe, wyrobiska kopalniane, hałdy i osadniki).

Mapa geologiczna. Do ilustracji budowy geologicznej badanego obszaru wykorzystano Szczegółową mapę geologiczną Polski 1:50 000 arkusz Bytom M-34-50-D (Biernat, 1954; reambulacja Wilanowski, Lewandowski, 2016). Obrazy wektorowe arkusza utworzone w wyniku cyfryzacji połączono z podkładem topograficznym w formie mapy geologicznej w skali 1:25 000 (tabl. 1).

Bazy danych. Utworzono oddzielne bazy danych (arkusze kalkulacyjne):

- gleb z głębokości 0,0–0,3 m;
- gleb z głębokości 0,8–1,0 m;
- osadów;
- wód powierzchniowych.

Bazy danych gleb zawierają: numery próbek, wyniki pomiarów współrzędnych w miejscach pobierania próbek, zapis obserwacji terenowych (rodzaj zabudowy, użytkowanie terenu, gatunek gleby, lokalizacja miejsca pobierania próbek – powiat, gmina, miejscowość), datę i nazwisko osoby pobierającej próbki oraz wyniki analiz chemicznych.

Bazy danych osadów śródlądowych zbiorników wodnych i wód powierzchniowych zawierają: numery próbek, wyniki pomiarów współrzędnych w miejscach pobierania próbek, zapis obserwacji terenowych (rodzaj zabudowy, użytkowanie terenu, rodzaj zbiornika wodnego, rodzaj osadu, lokalizację administracyjną miejsca pobierania próbek – powiat, gmina, miejscowość), datę i nazwisko osoby pobierającej próbki oraz wyniki analiz chemicznych.

Dane arkusza zostały umieszczone w odrębnych tabelach (gleb, osadów i wód powierzchniowych) geobazy profesjonalnej Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG) funkcjonującej w środowisku Oracle. Tabele te posłużyły do opracowania monopierwiastkowych map geochemicznych w aplikacji *ArcGIS 10.6*. W geobazie są przechowywane dane o charakterze opisowym (metadane), wyniki analiz chemicznych próbek oraz dane geometryczne składające się na część graficzną opracowania.

Obliczenia statystyczne. Wyniki zgromadzone w bazach danych służyły do wydzielania podzbiorów do obliczeń statystycznych według różnych kryteriów środowiska, na przykład zawartości pierwiastków w glebach terenów przemysłowych, glebach leśnych, glebach terenów miejskich, w osadach i wodach poszczególnych cieków i zbiorników oraz do konstrukcji map geochemicznych. Obliczenia parametrów statystycznych wykonano (w programie *Statistica*) zarówno dla całych zbiorów, jak i podzbiorów gleb, osadów i wód powierzchniowych. W przypadku zawartości pierwiastków poniżej granicy oznaczalności metody, do obliczeń statystycznych przyjmowano zawartość równą połowie limitu detekcji danej metody analitycznej. Wyliczono średnią arytmetyczną, średnią geometryczną, medianę oraz wartość minimalną i maksymalną. Dane te dla poszczególnych pierwiastków i wskaźników zestawiono w tabelach 2–5 i zamieszczono na mapach geochemicznych (tabl. 7–62).

Przy interpretacji wyników jako miarę tła geochemicznego poszczególnych pierwiastków stosowano obliczone wartości median. Mediana jest parametrem statystycznym lepiej charakteryzującym zawartość w porównaniu ze średnią arytmetyczną, gdyż jest mniej obciążona wpływem wartości ekstremalnych. Inne parametry statystyczne (wariancja, odchylenie standardowe) nie nadają się do charakterystyki populacji o bliżej nieokreślonym rozkładzie.

Opracowanie map. Dla arkusza Tarnowskie Góry opracowano następujące mapy (tabl. 2–63):

- zabudowa terenu;
- użytkowanie terenu;

- zawartość węgla organicznego oraz frakcji piaskowej, pyłowej i ilowej w glebach z głębokości 0,0–0,3 m;
- pH w glebach z głębokości 0,0–0,3 i 0,8–1,0 m;
- zawartość Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Ti, V i Zn w glebach z głębokości 0,0–0,3 m i 0,8–1,0 m oraz w osadach,
- pH i EC oraz zawartość Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, SO₄, Sb, Se, SiO₂, Sr, Ti, Tl, U, V i Zn w wodach powierzchniowych;
- klasyfikacja gleb z głębokości 0,0–0,3 m ze względu na dopuszczalną zawartość kadmu.

Mapy geochemiczne opracowano w programie *ArcGIS 10.6*, który jest pakietem programów firmy ESRI, przeznaczonym do pracy na mapach i danych przestrzennych. Program umożliwia tworzenie nowych lub modyfikację istniejących map, analizę i wizualizację danych przestrzennych oraz zarządzanie nimi w geobazach.

Zabudowę i użytkowanie terenu oraz rozkład zawartości pierwiastków w osadach i wodach powierzchniowych przedstawiono w postaci map punktowych.

Do przedstawienia rozkładu klas ziarnowych w glebach, ich odczynu oraz zawartości w nich pierwiastków chemicznych wybrano izoliniową (obszarową) metodę opracowania map ze względu na jej przejrzystość i czytelność. Izoliniowe mapy geochemiczne utworzono stosując deterministyczną metodę odwrotnych odległości *Inverse Distance Weighted – IDW*. Jest to metoda pozwalająca uzyskać wynik dla danej komórki (*grid*) poprzez uśrednienie wartości z najbliższych punktów, a bliższe punkty mają większy wpływ na wartość interpolowaną. Wpływ ten jest ujęty jako odwrotność odległości danego punktu podniesiona do potęgi ustalonej przez wykonawcę. Zaletą metody jest określenie odległości, z której są brane pod uwagę punkty w procesie interpolacji.

Mapy rozkładu klas ziarnowych, odczynu gleb oraz zawartości pierwiastków w glebach opracowano dla zbioru wyników analiz chemicznych arkuszy: Bytom, Piekary Śląskie, Tarnowskie Góry i Świerklaniec w skali 1:25 000. Dla każdej mapy wykonywano jedną analizę przestrzenną wymienionych arkuszy, aby zapobiec niezgodnościom na ich granicach. Powstałe mapy monopierwiastkowe łącznie z podkładem topograficznym w granicach danego arkusza.

Klasy uziarnienia gleb dobierano kierując się wartościami obliczonych parametrów statystycznych ich zawartości na obszarze ww. 4 arkuszy. Odczyn gleb przedstawiono według skali przyjętej w gleboznawstwie (z podziałem na gleby kwaśne, obojętne i zasadowe). Rozkład przestrzenny badanych pierwiastków w glebach przedstawiono przy zastosowaniu postępu geometrycznego do wyznaczenia klas rozkładu.

Mapy geochemiczne osadów zbiorników wodnych i wód powierzchniowych opracowano oddzielnie dla arkusza Tarnowskie Góry. Utworzono je w formie kartodiagramów kołowych, przypisując ich odpowiednie średnice do poszczególnych klas zawartości, ułożonych najczęściej w postępie geometrycznym.

Sporządzając przykładową mapę klasyfikacji gleb powierzchniowych ze względu na zanieczyszczenie kadmem (tabl. 63), wyniki badań geochemicznych odniesiono do wartości stężeń dopuszczalnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (Rozporządzenie..., 2016). Wydzielone obszary gleb zaklasyfikowano do grup użytkowania I, II, III i IV.

Do celów publikacji mapy geochemiczne połączono parami, tj. na jednej tablicy umieszczano mapę geochemiczną gleb z głębokości 0,0–0,3 m i mapę geochemiczną osadów, a na sąsiedniej – mapę geochemiczną gleb z głębokości 0,8–1,0 m i mapę geochemiczną wód powierzchniowych. Ten sposób prezentacji pozwala na bezpośrednie porównanie obrazów geochemicznych różnych środowisk. Kierując się wygodą użytkownika, wydrukowano mapy (opatrzone skalą liniową) w formacie nieco pomniejszonym (A3). Zabieg ten nie spowodował pominięcia żadnego szczegółu treści map.

WYNIKI BADAŃ

GLEBY

Najważniejszym czynnikiem glebotwórczym jest skład chemiczny skał macierzystych, którymi w granicach arkusza są zróżnicowane litologicznie utwory triasu, neogenu i czwartorzędu (tabl. 1). Na zróżnicowanie typów gleb wpływa też rzeźba terenu, stosunki wodne, pokrywa roślinna i działalność człowieka (Bednarek i in., 2004).

W północnej części obszaru arkusza występują gleby rdzawe i bielcowe utworzone na czwartorzędowych piaskach i glinach wodnolodowcowych. Na południu przeważają rędziny, które powstały na węglanowych osadach triasu i ich zwietrzelinach oraz gleby brunatne i płowe rozwinięte na piaskach i glinach czwartorzędu (Kościelny, Rosenbaum, 2013). W dolinach rzecznych pokrytych holocenijskimi namułami przeważają mady. Tereny pod zabudową miejską i przemysłową, obszary eksploatacji kopalni, powierzchnie sztucznych skarp, zrekultywowanych hałd oraz koryta rzeczne przekształconych cieków to rejon występowania gleb antropogenicznych.

W części południowo-wschodniej arkusza gleby o składzie naturalnym w znacznym stopniu zostały zanieczyszczone pierwiastkami potencjalnie toksycznymi w wyniku oddziaływania odpadów po historycznej eksploatacji i przetwórstwie rud Zn-Pb, hutnictwie cynku oraz działalności ZCH Tarnowskie Góry i składowania odpadów tego zakładu. Ta część obszaru arkusza jest typowym przykładem zanieczyszczenia gleb w wyniku wydobywania rud Zn-Pb i ich przetwarzania (Pasiczna, 2018), podobnie jak inne regiony eksploatacji rud metali i hutnictwa na świecie (Fuge i in., 1993; Adamo i in., 2002; Swennen, Van der Sluys, 2002; Cappuyns i in., 2005; Navarro i in., 2006; Acosta i in., 2011). Do źródeł antropogenicznego zanieczyszczenia gleb należy też depozycja pyłów i gazów pochodzących z zakładów przemysłowych, korozji materiałów budowlanych, ogrzewania osiedli mieszkaniowych, stosowania środków ochrony roślin (Wong i in., 2006; Albanese, Beward, 2011), a także środków komunikacji (szczególnie pochodzących z dużych węzłów kolejowych) (Wilkomirski i in., 2011; Stojić i in., 2017). Źródłem zanieczyszczenia gleb dolin rzecznych są okresowe wylewy rzek transportujących silnie zanieczyszczone wody i osady na tarasy zalewowe.

Skład granulometryczny. Skład granulometryczny określający rozdrobnienie mineralnej części fazy stałej gleby jest wyrażany wielkością cząstek oraz procentowym udziałem każdej frakcji (Bednarek i in., 2004). W warunkach naturalnych skład granulometryczny gleby ulega bardzo małym zmianom i jest jedną z ważniejszych cech wpływających na jej właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne (Mocek i in., 2000; Ryżak i in., 2009).

W opracowaniu przyjęto podział cząstek gleb na grupy granulometryczne według normy branżowej BN-78/9180-11, obowiązującej do 2008 r., ponieważ jest to kontynuacja opracowania seryjnego, wykonywanego od kilkunastu lat w sposób ciągły zgodnie z instrukcją do mapy geochemicznej w skali 1:25 000. Wyniki analiz granulometrycznych przedstawiono dla grup ziarnowych: 1,0–0,1 mm frakcja piaskowa, 0,1–0,02 mm frakcja pyłowa, <0,02 mm frakcja ilowa (tabl. 4–6). Zmiana przedziałów grup granulometrycznych zgodnie z aktualnymi wytycznymi Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (Klasyfikacja..., 2008) uniemożliwiłaby porównanie składu granulometrycznego z danymi z arkuszy opracowanych wcześniej.

Skład granulometryczny badanych gleb jest wyraźnie związany z litologią materiału macierzystego. Na całym obszarze objętym arkuszem przeważają gleby zasobne we frakcję piaskową. W jego części północnej i środkowej, pokrytej piaskami i żwirami wodnolodowcowymi, zawartość tej frakcji przekracza 60% (tabl. 4), a w innych rejonach stanowi często 40–60%. Gleby najbardziej zapiaszczone i naj-

Tabela 2 cd.
Table 2 cont.

Gleby Soils	Parametry Parameters	Ag mg/kg	Al %	As mg/kg	Ba mg/kg	C _{org.} %	Ca %	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe %	Hg mg/kg	Mg %	Mn mg/kg	Ni mg/kg	P %	Pb mg/kg	S %	Sr mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg	pH
Parki Parks n = 19	a	<1	0,17	<3	28	0,89	<0,01	<0,5	<1	2	2	0,08	<0,02	0,01	7	<1	0,003	35	0,007	2	47	3	8	5,21
	b	5	1,10	140	628	5,25	2,38	27,2	17	50	58	15,26	0,33	0,46	10 423	93	0,079	3675	0,052	111	284	54	4721	8,04
	c	<1	0,54	17	161	1,88	0,36	3,6	4	11	15	1,84	0,08	0,11	1120	12	0,026	466	0,019	16	105	14	603	6,27
	d	<1	0,48	8	101	1,61	0,07	1,1	3	8	9	0,84	0,04	0,07	281	6	0,018	155	0,016	8	93	11	129	6,21
	e	<1	0,52	6	86	1,45	0,03	0,8	3	8	7	0,69	0,03	0,07	319	5	0,016	90	0,015	5	82	10	74	5,92
Trawniki Lawns n = 172	a	<1	0,24	<3	39	0,24	0,07	<0,5	<1	4	4	0,29	<0,02	0,04	103	3	0,012	22	0,005	5	28	3	59	6,00
	b	18	1,84	720	3185	21,78	8,33	66,4	15	139	716	8,93	1,49	4,77	5594	57	0,197	10 080	0,201	256	706	89	37 005	9,53
	c	<1	0,54	16	392	3,03	1,04	4,4	4	14	35	1,36	0,11	0,31	761	11	0,052	484	0,041	42	127	16	949	7,69
	d	<1	0,51	9	279	2,42	0,62	3,0	3	12	24	1,13	0,07	0,18	572	9	0,046	278	0,034	30	108	14	534	7,67
	e	<1	0,51	8	267	2,35	0,61	2,9	3	11	23	1,13	0,07	0,15	525	9	0,046	267	0,033	32	103	13	547	7,72
Gleby piaszczyste Sandy soils n = 935	a	<1	0,03	<3	14	0,15	<0,01	<0,5	<1	<1	1	0,02	<0,02	<0,01	1	<1	<0,002	5	<0,003	<1	<5	<1	5	3,37
	b	4	1,56	247	3401	39,82	16,42	42,6	27	97	1165	13,38	0,93	1,25	10 264	85	0,483	7187	0,189	1819	284	68	7648	9,18
	c	<1	0,39	7	229	2,65	0,17	1,6	2	7	14	0,65	0,05	0,06	304	5	0,037	185	0,025	14	55	9	196	5,90
	d	<1	0,33	5	139	1,93	0,06	1,0	1	5	8	0,46	0,04	0,03	108	3	0,028	108	0,021	8	47	8	86	5,76
	e	<1	0,39	5	117	1,66	0,08	1,0	2	6	7	0,52	0,04	0,05	218	4	0,034	99	0,019	8	48	9	83	6,24
Gleby gliniaste Clay soils n = 134	a	<1	0,20	<3	34	0,57	<0,01	<0,5	<1	2	3	0,10	<0,02	<0,01	6	<1	0,008	19	0,008	2	<5	3	13	4,03
	b	5	2,27	140	2195	6,67	18,12	30,3	19	50	31	15,26	0,34	7,03	10 423	93	0,105	15 500	0,064	79	156	54	5708	8,27
	c	<1	0,70	10	142	1,81	0,54	2,3	5	12	11	1,35	0,06	0,26	718	11	0,046	297	0,023	12	55	17	341	6,55
	d	<1	0,65	7	111	1,60	0,17	1,3	4	11	10	1,04	0,05	0,12	381	8	0,040	101	0,021	9	49	15	142	6,45
	e	<1	0,60	7	105	1,47	0,18	1,3	4	10	11	0,93	0,05	0,09	500	8	0,047	83	0,021	9	51	15	126	6,80
Gleby torfiaste Peaty soils n = 57	a	<1	0,10	<3	59	1,80	<0,01	<0,5	<1	2	6	0,14	<0,02	<0,01	7	1	0,018	92	0,029	8	<5	3	31	3,43
	b	10	2,41	227	1412	48,60	2,63	48,4	7	274	1977	4,89	1,94	0,37	583	55	0,612	4128	0,753	826	290	78	8403	6,82
	c	<1	0,64	22	573	25,19	0,39	6,4	2	15	113	0,90	0,28	0,05	127	7	0,096	667	0,163	46	43	19	458	4,53
	d	<1	0,50	13	485	20,42	0,16	4,6	1	9	33	0,67	0,20	0,03	58	5	0,066	496	0,136	27	28	14	224	4,43
	e	<1	0,47	10	524	24,18	0,12	4,4	1	8	27	0,65	0,21	0,02	40	5	0,059	498	0,141	23	36	12	203	4,02
Gleby antropogeniczne Man-made soils n = 204	a	<1	0,24	<3	17	0,16	0,08	<0,5	<1	4	4	0,35	<0,02	0,04	103	4	0,009	22	0,005	5	30	5	59	6,00
	b	18	1,87	997	47 151	41,47	14,37	66,4	36	139	2266	11,11	1,85	5,11	12 928	62	0,197	12 480	4,485	3758	706	89	37 005	9,53
	c	<1	0,58	25	780	3,94	1,34	6,1	4	17	61	1,69	0,12	0,39	941	13	0,055	666	0,069	85	137	18	1184	7,73
	d	<1	0,54	11	308	2,67	0,78	3,5	4	13	30	1,34	0,07	0,21	647	11	0,047	322	0,037	37	116	15	636	7,71
	e	<1	0,53	10	267	2,56	0,83	3,3	4	12	27	1,25	0,08	0,19	558	11	0,048	295	0,037	35	106	15	606	7,75
Tło geochemiczne; geochemical background																								
Gleby Europy ¹⁾ ; Soils of Europe n = 837	e	0,27	5,82	6	65	1,73	0,92	0,15	7	22	12	1,96	0,04	0,46	524	14	0,055	15	0,023	89	3420	33	48	7,7
Gleby Polski ²⁾ ; Soils of Poland n = 10 840	e	<1		<5	32		0,18	<0,5	2	4	5	0,51	<0,05	0,06	217	4	0,034	13	0,012	8	26	7	35	6,1
Gleby regionu śląsko-krakowskiego ³⁾ Soils of Cracow-Silesia Region n = 1564	e	<1		<5	54		0,22	1,3	3	5	7	0,63	0,08	0,07	257	5	0,030	44	0,015	10	28	9	104	6,7
Dopuszczalne zawartości pierwiastków powodujących ryzyko ⁴⁾ ; permissible levels of elements causing the risk																								
I grupa; group I				25	400			2	50	200	200		5			150		200					500	
II grupa; group II				10–50	200–600			2–5	20–50	150–500	100–300		2–5			100–300		100–500					300–1000	
III grupa; group III				50	1000			10	100	500	300		10			300		500					1000	
IV grupa; group IV				100	1500			15	200	1000	600		30			500		600					2000	

a – minimum; minimum b – maksimum; maximum c – średnia arytmetyczna; arithmetic mean d – średnia geometryczna; geometric mean e – mediana; median n – liczba próbek; number of samples ¹⁾Salminen red., 2005; ²⁾Lis, Pasieczna, 1995a; ³⁾Lis, Pasieczna, 1995b; ⁴⁾Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2016

Tabela 3
Table

Parametry statystyczne zawartości pierwiastków chemicznych i odczynu gleb (0,8–1,0 m)

Statistical parameters of chemical elements contents and acidity of subsoils (0.8–1.0 m)

Gleby Soils	Parametry Parameters	Ag mg/kg	Al %	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca %	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe %	Hg mg/kg	Mg %	Mn mg/kg	Ni mg/kg	P %	Pb mg/kg	S %	Sr mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg	pH
Granica wykrywalności Detection limit		1	0,01	3	1	0,01	0,5	1	1	1	0,01	0,02	0,01	2	1	0,002	2	0,003	1	5	1	1	
Gleby ogółem Soils as a whole n = 1290	a	<1	0,05	<3	8	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,01	<0,02	<0,01	2	<1	<0,002	<2	<0,003	<1	6	<1	3	3,45
	b	26	3,97	219	63 112	24,70	152,2	57	169	1725	9,34	1,90	8,49	7322	243	0,953	52 190	1,006	2915	814	69	24 201	9,26
	c	<1	0,46	5	131	0,47	1,5	3	8	12	0,79	0,03	0,18	290	9	0,020	156	0,014	14	75	10	225	6,74
	d	<1	0,38	3	37	0,05	<0,5	2	5	4	0,42	<0,02	0,05	74	4	0,009	13	0,005	5	64	7	32	6,66
	e	<1	0,40	<3	29	0,04	<0,5	2	5	4	0,46	<0,02	0,05	73	4	0,008	9	0,004	4	64	8	22	6,85
Tereny bez zabudowy Non-built-up areas n = 946	a	<1	0,05	<3	8	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,01	<0,02	<0,01	2	<1	<0,002	<2	<0,003	<1	6	<1	3	3,45
	b	26	3,97	219	2462	24,70	152,2	57	108	1053	9,34	0,89	8,49	7322	243	0,433	52 190	1,006	498	814	69	24 201	9,26
	c	<1	0,44	5	54	0,43	1,1	3	8	9	0,74	0,02	0,18	234	9	0,017	128	0,013	9	67	9	156	6,51
	d	<1	0,36	<3	30	0,03	<0,5	1	5	4	0,36	<0,02	0,04	54	3	0,008	8	0,004	4	57	6	22	6,44
	e	<1	0,36	<3	26	0,03	<0,5	1	5	3	0,37	<0,02	0,04	51	3	0,007	7	0,004	3	58	7	17	6,60
Tereny z zabudową wiejską Village areas n = 89	a	<1	0,14	<3	16	0,01	<0,5	<1	1	<1	0,06	<0,02	<0,01	6	<1	<0,002	3	<0,003	2	25	1	6	5,01
	b	1	1,28	33	371	1,67	12,6	11	24	116	2,27	0,21	0,29	2209	20	0,217	1202	0,336	118	259	26	2350	8,35
	c	<1	0,48	3	53	0,13	0,7	3	7	7	0,63	0,02	0,07	199	6	0,019	72	0,010	8	89	9	120	6,88
	d	<1	0,43	<3	40	0,06	<0,5	2	6	5	0,46	<0,02	0,05	97	4	0,012	20	0,005	5	79	8	41	6,84
	e	<1	0,44	<3	35	0,05	<0,5	2	6	4	0,54	<0,02	0,06	105	5	0,010	13	0,004	4	83	9	26	6,88
Tereny z zabudową miejską Urban areas n = 209	a	<1	0,09	<3	13	<0,01	<0,5	<1	<1	1	0,06	<0,02	<0,01	6	<1	<0,002	<2	<0,003	1	34	2	5	4,83
	b	9	2,11	176	3334	10,99	53,2	17	169	1725	9,32	1,90	4,95	4686	104	0,953	5862	0,146	241	360	60	9278	8,88
	c	<1	0,50	9	167	0,71	2,4	3	9	21	1,01	0,07	0,21	518	8	0,030	266	0,017	22	99	11	480	7,53
	d	<1	0,45	4	70	0,15	0,8	2	7	7	0,67	0,02	0,08	204	5	0,017	53	0,007	9	88	9	110	7,49
	e	<1	0,46	3	54	0,10	<0,5	2	6	6	0,63	<0,02	0,07	197	5	0,015	42	0,006	7	85	9	79	7,59
Tereny przemysłowe Industrial areas n = 46	a	<1	0,17	<3	20	<0,01	<0,5	<1	2	1	0,10	<0,02	0,02	10	1	<0,002	3	<0,003	2	39	3	8	5,70
	b	6	1,27	112	63 112	5,17	100,1	10	43	581	7,46	0,84	2,24	5781	48	0,141	4328	0,133	2915	273	37	10 421	8,82
	c	<1	0,49	12	1705	0,87	4,8	3	11	36	1,15	0,08	0,23	584	10	0,025	381	0,023	97	104	12	691	7,59
	d	<1	0,45	5	127	0,23	1,1	2	8	13	0,74	0,03	0,10	253	7	0,017	93	0,011	15	96	10	165	7,55
	e	<1	0,46	5	92	0,26	1,0	3	7	13	0,73	0,02	0,08	255	7	0,016	96	0,010	10	95	10	181	7,63
Pola uprawne Cultivated fields n = 394	a	<1	0,12	<3	8	<0,01	<0,5	<1	2	1	0,07	<0,02	0,02	7	<1	<0,002	<2	<0,003	1	6	2	5	4,89
	b	3	2,37	73	1054	18,00	152,2	57	108	102	9,34	0,20	8,49	7322	243	0,364	2426	0,095	170	268	69	24 201	9,26
	c	<1	0,56	5	42	0,62	1,0	5	11	10	1,08	0,02	0,30	349	16	0,023	40	0,006	9	76	13	177	7,03
	d	<1	0,48	<3	31	0,09	<0,5	3	8	6	0,69	<0,02	0,08	141	7	0,013	10	0,004	5	66	10	31	6,98
	e	<1	0,49	<3	28	0,06	<0,5	3	7	5	0,68	<0,02	0,07	123	6	0,011	9	0,003	4	70	10	23	7,11
Lasy Forests n = 439	a	<1	0,06	<3	8	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,02	<0,02	<0,01	2	<1	<0,002	<2	<0,003	<1	8	<1	3	3,45
	b	26	3,97	219	7422	18,40	121,5	31	43	57	7,83	0,32	6,84	3458	94	0,433	52 190	0,702	385	410	54	11 123	8,63
	c	<1	0,32	<3	53	0,13	0,7	1	4	4	0,35	<0,02	0,07	72	3	0,009	140	0,012	5	56	5	60	5,99
	d	<1	0,26	<3	25	0,01	<0,5	<1	3	2	0,18	<0,02	0,02	18	2	0,005	5	0,004	2	49	4	12	5,93
	e	<1	0,23	<3	23	<0,01	<0,5	<1	3	2	0,15	<0,02	0,02	13	2	0,004	4	0,004	2	49	3	10	6,10
Łąki Meadows n = 100	a	<1	0,05	<3	9	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,01	<0,02	<0,01	4	<1	<0,002	<2	<0,003	1	9	1	3	5,01
	b	5	1,38	128	1487	16,08	52,98	32	32	119	7,52	0,24	5,56	3655	116	0,227	9267	0,592	71	233	54	4975	8,32
	c	<1	0,45	5	55	0,40	0,87	3	7	7	0,72	0,02	0,16	214	7	0,019	110	0,024	8	70	10	89	6,61
	d	<1	0,37	<3	32	0,05	<0,5	2	5	3	0,38	<0,02	0,04	71	3	0,010	10	0,004	4	59	7	24	6,57
	e	<1	0,40	<3	27	0,04	<0,5	1	5	3	0,41	<0,02	0,05	73	3	0,009	9	0,004	4	59	7	21	6,76
Nieuzytki, ugory Barren lands n = 162	a	<1	0,09	<3	10	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,03	<0,02	<0,01	4	<1	<0,002	<2	<0,003	2	18	1	5	4,32
	b	9	2,11	163	1939	24,70	100,1	18	169	1725	7,46	1,90	3,86	5781	104	0,953	10 350	1,006	498	814	60	10 421	8,72
	c	<1	0,51	10	137	0,65	3,5	3	10	34	0,98	0,06	0,17	423	9	0,030	310	0,027	21	91	11	513	7,07
	d	<1	0,44	4	60	0,11	0,6	2	7	7	0,60	<0,02	0,07	141	5	0,013	37	0,007	8	78	9	81	7,02
	e	<1	0,46	3	42	0,07	<0,5	2	7	6	0,59	<0,02	0,06	150	5	0,012	23	0,005	5	76	9	43	7,20

Tabela 3 cd.
Table cont.

Gleby Soils	Parametry Parameters	Ag mg/kg	Al %	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca %	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe %	Hg mg/kg	Mg %	Mn mg/kg	Ni mg/kg	P %	Pb mg/kg	S %	Sr mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg	pH
Ogródki działkowe Allotments n = 17	a	<1	0,22	<3	18	0,02	<0,5	<1	3	1	0,20	<0,02	0,03	17	2	0,003	3	<0,003	2	42	4	11	5,36
	b	3	1,00	100	1847	4,82	13,5	11	25	148	6,28	0,21	0,23	2625	38	0,217	4287	0,077	156	232	25	5875	8,07
	c	<1	0,58	10	183	0,59	2,1	3	10	17	1,26	0,03	0,10	446	11	0,033	385	0,014	25	108	13	498	7,10
	d	<1	0,54	4	64	0,14	0,6	2	8	8	0,85	0,02	0,08	173	7	0,018	44	0,007	9	94	11	82	7,05
	e	<1	0,56	3	50	0,11	<0,5	3	8	8	0,79	<0,02	0,08	185	5	0,014	47	0,005	7	89	11	63	7,38
Parki Parks n = 19	a	<1	0,23	<3	18	<0,01	<0,5	<1	3	<1	0,10	<0,02	0,02	14	1	0,003	3	<0,003	2	27	2	8	4,96
	b	1	1,27	30	416	2,81	14,6	22	32	38	4,04	0,36	0,28	3145	56	0,065	1238	0,064	83	205	29	1828	8,36
	c	<1	0,58	7	70	0,40	1,7	5	11	10	1,17	0,04	0,09	535	11	0,019	177	0,011	13	98	12	260	6,82
	d	<1	0,50	4	43	0,07	<0,5	3	8	8	0,73	<0,02	0,07	181	6	0,012	29	0,005	6	91	9	67	6,75
	e	<1	0,43	<3	33	0,07	<0,5	2	6	6	4	0,60	<0,02	0,07	149	5	0,009	28	0,005	4	97	8	47
Trawniki Lawns n = 159	a	<1	0,09	<3	18	0,02	<0,5	<1	<1	2	0,07	<0,02	<0,01	11	<1	0,003	4	<0,003	2	34	2	9	5,35
	b	7	1,37	176	63 112	10,26	44,1	9	51	308	5,48	0,98	4,95	4686	28	0,133	5862	0,336	2915	360	41	7371	8,88
	c	<1	0,52	10	609	0,87	2,9	3	9	17	1,08	0,08	0,25	616	8	0,029	331	0,022	45	108	12	558	7,78
	d	<1	0,47	5	100	0,26	1,0	2	7	9	0,78	0,03	0,10	300	6	0,021	97	0,010	14	96	10	179	7,76
	e	<1	0,48	5	79	0,20	1,0	3	7	7	0,73	0,03	0,09	279	6	0,022	104	0,010	10	90	10	179	7,83
Gleby piaszczyste Sandy soils n = 909	a	<1	0,05	<3	8	<0,01	<0,5	<1	<1	<1	0,01	<0,02	<0,01	2	<1	<0,002	<2	<0,003	<1	13	<1	3	3,70
	b	7	1,10	97	1924	3,39	43,3	32	56	109	9,32	0,57	1,95	4395	48	0,141	10 350	0,107	103	268	45	4816	8,82
	c	<1	0,34	<3	40	0,06	<0,5	2	5	4	0,42	<0,02	0,04	113	4	0,009	38	0,005	4	67	6	50	6,61
	d	<1	0,30	<3	26	0,02	<0,5	1	4	3	0,26	<0,02	0,03	39	2	0,006	7	0,003	3	60	5	17	6,55
	e	<1	0,31	<3	24	0,02	<0,5	1	4	2	0,29	<0,02	0,03	39	3	0,006	6	0,004	3	60	5	15	6,72
Gleby gliniaste Clay soils n = 246	a	<1	0,30	<3	16	<0,01	<0,5	<1	5	2	0,24	<0,02	0,04	15	2	0,003	3	<0,003	2	6	5	11	4,40
	b	5	2,37	128	1487	24,70	152,2	57	108	119	9,34	0,20	8,49	7322	243	0,364	9267	0,122	498	410	69	24 201	9,26
	c	<1	0,80	9	72	1,46	1,9	8	18	16	1,80	0,03	0,63	621	26	0,039	138	0,012	18	81	20	366	6,77
	d	<1	0,74	5	51	0,22	<0,5	5	15	11	1,39	0,02	0,18	277	14	0,022	26	0,007	10	64	18	70	6,67
	e	<1	0,73	4	46	0,14	<0,5	5	13	10	1,24	0,02	0,12	300	11	0,021	15	0,006	7	69	17	38	6,94
Gleby torfiaste Peaty soils n = 21	a	<1	0,09	<3	13	<0,01	<0,5	<1	1	2	0,03	<0,02	<0,01	5	1	<0,002	2	0,004	1	12	2	7	3,45
	b	9	3,97	163	1939	2,45	97,7	18	169	1725	2,95	1,90	0,23	1087	39	0,953	2686	1,006	241	93	54	10 148	7,23
	c	1	0,76	23	240	0,99	10,6	2	19	161	0,57	0,28	0,08	152	9	0,132	383	0,291	53	36	18	1175	5,49
	d	<1	0,45	7	122	0,43	2,0	1	8	19	0,31	0,11	0,05	64	5	0,049	63	0,175	29	30	12	135	5,39
	e	<1	0,55	5	121	0,68	1,3	<1	10	12	0,32	0,12	0,07	72	5	0,047	50	0,210	47	25	16	89	5,69
Gleby antropogeniczne Man-made soils n = 114	a	<1	0,23	<3	29	0,03	<0,5	<1	3	2	0,17	<0,02	0,02	32	2	0,004	17	<0,003	3	36	3	29	5,93
	b	26	1,37	219	63 112	10,26	121,5	11	51	581	7,83	0,98	3,61	5781	39	0,217	52 190	0,336	2915	814	41	11 123	8,88
	c	1	0,60	19	961	1,53	6,8	4	12	34	1,65	0,12	0,35	1019	12	0,043	1090	0,041	76	137	15	1139	7,96
	d	<1	0,57	11	225	0,79	2,7	3	11	20	1,29	0,06	0,19	645	10	0,035	309	0,026	34	119	14	522	7,94
	e	<1	0,57	9	200	0,85	2,9	4	10	20	1,23	0,07	0,17	625	9	0,038	333	0,028	37	114	14	547	8,01

a – minimum; minimum b – maksimum; maximum c – średnia arytmetyczna; arithmetic mean d – średnia geometryczna; geometric mean e – mediana; median n – liczba próbek; number of samples

Tabela 4
Table

Parametry statystyczne zawartości pierwiastków chemicznych w osadach

Statistical parameters of chemical elements contents in sediments

Osady Sediments	Parametry Parameters	Ag mg/kg	Al %	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca %	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe %	Hg mg/kg	Mg %	Mn mg/kg	Ni mg/kg	P %	Pb mg/kg	S %	Sr mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Granica wykrywalności Detection limit		1	0,01	3	1	0,01	0,5	1	1	1	0,01	0,02	0,01	2	1	0,002	2	0,003	1	5	1	1
Osady (wszystkie próbki) Sediments (all samples) n = 296	a	<1	0,05	<3	7	0,01	<0,5	<1	2	1	0,04	<0,02	<0,01	3	<1	0,004	3	0,003	2	<5	<1	11
	b	12	5,07	151	1133	4,50	237,7	115	227	736	12,89	12,65	2,09	22 110	320	0,530	13 880	3,290	362	307	140	10 820
	c	<1	0,69	18	213	0,68	9,8	6	19	57	1,45	0,30	0,18	584	17	0,095	444	0,281	30	57	15	919
	d	<1	0,53	11	148	0,34	4,4	3	12	23	0,94	0,10	0,09	203	10	0,065	183	0,143	19	45	11	437
	e	<1	0,59	10	168	0,34	4,3	3	11	21	1,02	0,10	0,08	232	10	0,074	178	0,159	19	44	13	423
Strumienie i rowy bez nazwy Streams and ditches (without a name) n = 132	a	<1	0,05	<3	16	0,01	<0,5	<1	2	2	0,07	<0,02	0,02	7	1	0,004	4	0,003	2	<5	<1	23
	b	10	5,07	151	846	4,50	237,7	41	227	736	3,88	12,65	2,09	3089	185	0,360	4030	2,121	121	307	41	6009
	c	1	0,71	18	211	0,87	11,6	5	26	86	1,23	0,46	0,22	368	21	0,093	512	0,304	33	61	14	1072
	d	<1	0,53	11	157	0,39	4,8	3	17	33	0,93	0,13	0,12	183	13	0,063	210	0,153	22	46	11	493
	e	<1	0,64	11	193	0,41	5,4	4	14	26	1,04	0,12	0,10	234	14	0,074	201	0,176	23	44	13	526
Sadzawki Small water pools n = 19	a	<1	0,16	<3	23	0,03	<0,5	<1	4	2	0,21	<0,02	0,03	25	3	0,006	4	0,015	2	12	4	27
	b	<1	1,16	19	357	3,16	51,1	13	27	56	1,47	0,21	0,44	1607	34	0,098	638	1,152	82	89	33	4274
	c	<1	0,58	6	141	0,55	4,9	4	10	18	0,79	0,07	0,10	205	11	0,039	104	0,253	18	48	12	458
	d	<1	0,51	4	100	0,21	1,7	3	8	12	0,68	0,04	0,07	107	8	0,028	56	0,121	11	43	10	208
	e	<1	0,50	5	102	0,19	2,2	3	7	12	0,66	0,05	0,06	84	7	0,037	69	0,132	12	47	10	212
Stawy Ponds n = 9	a	<1	0,15	<3	11	0,08	<0,5	<1	3	3	0,27	<0,02	0,03	30	3	0,08	3	0,004	3	9	4	13
	b	<1	1,08	14	290	4,24	4,9	12	24	24	1,85	0,09	2,09	755	30	0,187	401	0,919	63	103	27	656
	c	<1	0,54	5	139	0,80	1,5	3	9	14	0,79	0,04	0,38	239	11	0,045	80	0,184	17	45	10	153
	d	<1	0,43	4	89	0,32	0,8	2	7	11	0,62	0,03	0,12	144	8	0,029	34	0,071	11	34	9	86
	e	<1	0,35	4	111	0,25	0,6	2	7	18	0,59	0,03	0,07	95	6	0,026	38	0,067	13	36	7	69
Drama Drama River n = 11	a	<1	0,06	<3	7	0,24	<0,5	<1	2	2	0,11	<0,02	0,11	50	1	0,006	18	0,006	2	33	2	64
	b	2	1,07	14	243	1,89	6,6	7	20	34	1,78	0,36	0,81	624	18	0,309	430	0,334	45	102	24	908
	c	<1	0,39	5	68	0,70	2,3	3	9	12	0,72	0,10	0,30	195	7	0,079	138	0,100	14	59	8	379
	d	<1	0,29	4	45	0,55	1,7	2	7	8	0,53	0,06	0,24	151	5	0,048	93	0,056	10	56	6	291
	e	<1	0,31	4	52	0,48	2,1	2	8	9	0,58	0,07	0,19	150	6	0,052	94	0,056	11	60	7	304
Rzepecki Rów Rzepecki Rów Stream n = 11	a	<1	0,11	<3	20	0,08	0,8	1	3	2	0,26	<0,02	0,03	143	3	0,015	191	0,010	3	66	3	136
	b	12	0,81	148	224	2,35	108,0	8	42	52	9,01	0,22	0,95	2492	39	0,310	13 880	0,320	51	175	39	9010
	c	3	0,56	38	114	1,01	19,2	5	19	25	2,67	0,11	0,38	1006	17	0,118	2638	0,102	25	108	18	2125
	d	1	0,49	15	87	0,54	6,9	4	14	15	1,66	0,07	0,21	734	13	0,082	1156	0,056	17	102	14	1018
	e	<1	0,67	21	139	0,62	4,6	6	16	19	2,11	0,11	0,22	611	18	0,102	775	0,081	23	90	20	769
Zlewnia Dramy Drama River catchment n = 54	a	<1	0,06	<3	7	0,08	<0,5	<1	2	2	0,11	<0,02	0,03	30	1	0,006	3	0,004	2	17	2	13
	b	12	1,10	148	334	2,92	108,0	15	42	73	9,01	0,36	1,42	2492	39	0,530	13 880	0,600	64	175	39	9010
	c	<1	0,52	13	112	0,69	6,0	4	13	17	1,29	0,08	0,26	578	12	0,092	698	0,093	19	74	13	732
	d	<1	0,43	6	82	0,46	2,4	3	10	12	0,90	0,06	0,17	338	9	0,061	174	0,058	14	67	10	346
	e	<1	0,48	6	112	0,34	2,2	4	10	12	1,00	0,07	0,14	380	10	0,069	143	0,053	14	66	12	332
Pniowiec Pniowiec Stream n = 23	a	<1	0,14	<3	30	0,07	1,3	<1	2	2	0,35	<0,02	0,02	43	3	0,016	40	0,033	7	13	2	189
	b	2	1,73	46	358	2,32	54,5	115	26	61	8,58	0,58	0,86	22 110	78	0,240	825	1,370	55	181	35	6925
	c	<1	0,53	15	191	0,50	10,8	12	8	19	1,77	0,10	0,11	2376	17	0,082	223	0,339	19	43	10	1280
	d	<1	0,42	10	163	0,34	6,2	6	7	13	1,26	0,06	0,07	479	11	0,069	171	0,213	16	37	8	738
	e	<1	0,38	9	187	0,29	4,1	5	7	14	1,31	0,05	0,06	294	8	0,074	172	0,232	14	34	8	454
Zlewnia Pniowca Pniowiec Stream catchment n = 110	a	<1	0,14	<3	15	0,01	<0,5	<1	2	1	0,04	<0,02	<0,01	3	<1	0,005	3	0,004	2	<5	2	11
	b	5	3,82	110	1133	3,52	111,8	115	102	482	12,89	2,34	0,86	22 110	320	0,340	1551	3,290	362	248	140	10 820
	c	<1	0,75	21	265	0,45	9,4	7	13	43	1,79	0,20	0,08	847	14	0,099	238	0,346	30	43	18	828
	d	<1	0,58	13	184	0,25	5,3	3	9	21	0,96	0,10	0,05	179	8	0,071	159	0,207	20	36	12	423
	e	<1	0,56	13	209	0,24	5,0	3	9	22	1,04	0,11	0,05	157	8	0,076	172	0,215	19	37	11	400
Stoła Stoła River n = 42	a	<1	0,05	7	48	0,18	3,1	<1	9	36	0,28	0,07	0,02	55	4	0,016	258	0,104	23	19	<1	679
	b	10	1,05	151	609	3,66	237,7	12	227	736	3,88	12,65	0,99	1670	185	0,360	4030	1,829	121	169	29	6009
	c	2	0,41	32	286	1,41	21,9	4	53	215	1,69	1,23	0,36	493	37	0,163	1195	0,523	59	88	11	2289
	d	2	0,31	26	237	1,02	15,1	3	44	175	1,39	0,55	0,23	362	24	0,134	936	0,384	55	76	8	2040
	e	2	0,29	23	289	1,00	15,5	4	45	171	1,36	0,45	0,22	332	20	0,161	988	0,369	55	85	9	2188

Tabela 4 cd.
Table cont.

Osady Sediments	Parametry Parameters	Ag mg/kg	Al %	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca %	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe %	Hg mg/kg	Mg %	Mn mg/kg	Ni mg/kg	P %	Pb mg/kg	S %	Sr mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Zlewnia Stoły Stoła River catchment n = 132	a	<1	0,05	<3	16	0,01	<0,5	<1	2	2	0,07	<0,02	0,02	7	1	0,004	4	0,003	2	<5	<1	23
	b	10	5,07	151	846	4,50	237,7	41	227	736	3,88	12,65	2,09	3089	185	0,360	4030	2,121	121	307	41	6009
	c	1	0,71	18	211	0,87	11,6	5	26	86	1,23	0,46	0,22	368	21	0,093	512	0,304	33	61	14	1072
	d	<1	0,53	11	157	0,39	4,8	3	17	33	0,93	0,13	0,12	183	13	0,063	210	0,153	22	46	11	493
	e	<1	0,64	11	193	0,41	5,4	4	14	26	1,04	0,12	0,10	234	14	0,074	201	0,176	23	44	13	526
Tło geochemiczne; geochemical background																						
Osady strumieniowe Europy ¹⁾ Stream sediments of Europe n = 794	e		10,4	6	87,5	2,44	0,29	8	22	15	1,97	0,04	0,72	453	17	0,056	14	0,050	124	3800	29	60
Osady Polski ²⁾ Sediments of Poland n = 12 778	e	<1		<5	54	0,86	<0,5	3	5	7	0,80	0,05	0,11	274	6	0,059	13	0,040	20	30	7	62
Osady regionu śląsko-krakowskiego ³⁾ Sediments of Cracow-Silesia Region n = 1459	e	1		6	98	0,71	2,5	4	9	15	1,07	0,06	0,13	292	11	0,066	59	0,052	24	42	12	259

a – minimum;
minimum

b – maksimum;
maximum

c – średnia arytmetyczna;
arithmetic mean

d – średnia geometryczna;
geometric mean

e – mediana;
median

n – liczba próbek;
number of samples

¹⁾ Salminen i in., 2005;

²⁾ Lis, Pasieczna, 1995a;

³⁾ Lis, Pasieczna, 1995b

Tabela 5 cd.
Table cont.

Wody powierzchniowe Surface water	Parametry Parameters	EC mS/cm	pH	Ag µg/dm ³	Al µg/dm ³	As µg/dm ³	B mg/dm ³	Ba mg/dm ³	Be µg/dm ³	Ca mg/dm ³	Cd µg/dm ³	Co µg/dm ³	Cr mg/dm ³	Cu µg/dm ³	Fe mg/dm ³	K mg/dm ³	Li µg/dm ³	Mg mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Mo µg/dm ³	Na mg/dm ³	Ni µg/dm ³	P mg/dm ³	Pb µg/dm ³	SO ₄ mg/dm ³	Sb µg/dm ³	Se µg/dm ³	SiO ₂ mg/dm ³	Sr mg/dm ³	Ti mg/dm ³	Tl µg/dm ³	U µg/dm ³	V µg/dm ³	Zn mg/dm ³
Stoła Stoła River n = 37	a	0,26	6,8	<0,05	8,5	<2	0,04	0,032	<0,05	38,2	<0,05	<0,05	<0,003	0,38	0,01	<0,5	2,4	7,4	0,001	0,19	4,3	1,0	<0,05	<0,05	5	<0,05	<2	4,1	0,121	<0,002	<0,05	<0,05	<1	0,008
	b	1,44	7,9	<0,05	131,8	20	16,71	1,338	<0,05	116,1	11,75	6,98	<0,003	41,72	0,49	31,0	146,8	29,9	0,925	23,69	116,0	606,9	4,56	4,28	198	1,01	2	17,1	0,998	<0,002	0,54	0,98	2	1,696
	c	1,11	7,4	<0,05	30,6	6	5,40	0,344	<0,05	89,7	0,58	1,31	<0,003	4,43	0,11	16,4	23,0	21,8	0,356	9,32	88,2	56,5	0,78	1,22	139	0,51	<2	13,3	0,478	<0,002	0,16	0,54	<1	0,147
	d	1,07	7,4	<0,05	24,4	4	2,17	0,211	<0,05	87,1	0,15	1,04	<0,003	2,83	0,07	13,7	15,0	21,1	0,246	5,75	76,5	13,6	0,43	0,83	123	0,45	<2	13,0	0,398	<0,002	0,10	0,48	<1	0,063
	e	1,17	7,5	<0,05	22,4	7	2,91	0,145	<0,05	86,3	0,13	1,17	<0,003	2,46	0,08	15,9	13,4	22,8	0,243	9,63	95,6	10,4	0,42	1,03	148	0,54	<2	14,3	0,401	<0,002	0,08	0,46	<1	0,050
Zlewnia Stoły Stoła River catchment n = 98	a	0,08	4,8	<0,05	5,0	<2	0,01	0,025	<0,05	4,3	<0,05	<0,05	<0,003	0,32	0,01	<0,5	0,5	1,3	0,001	<0,05	0,4	<0,5	<0,05	<0,05	2	<0,05	<2	0,3	0,015	<0,002	<0,05	<0,05	<1	0,003
	b	1,52	8,3	<0,05	3905,3	20	16,71	1,338	3,01	183,9	11,75	38,86	0,008	41,72	8,60	112,4	146,8	115,6	3,175	23,69	175,7	606,9	6,24	22,36	710	1,01	2	22,9	0,998	0,006	0,66	2,53	5	1,696
	c	0,76	7,2	<0,05	170,6	4	2,09	0,199	0,12	72,6	0,84	1,77	<0,003	2,94	0,40	12,2	13,0	18,7	0,361	3,87	47,8	25,1	0,58	1,73	110	0,37	<2	11,1	0,298	<0,002	0,11	0,50	1	0,138
	d	0,62	4,2	<0,05	35,4	2	0,23	0,124	<0,05	60,8	0,15	0,62	<0,003	1,77	0,10	7,6	6,8	14,2	0,173	0,78	22,3	4,76	0,15	0,60	73	0,30	<2	8,6	0,215	<0,002	0,07	0,26	<1	0,035
	e	0,75	7,3	<0,05	22,8	<2	0,09	0,113	<0,05	75,8	0,10	0,83	<0,003	1,86	0,08	8,8	6,1	18,4	0,226	0,76	32,5	4,25	0,13	0,49	91	0,32	<2	12,2	0,198	<0,002	0,06	0,39	<1	0,040
Wartości wskaźników jakości wód powierzchniowych i pitnych; surface water and drinking water quality guidelines																																		
I klasa ¹⁾ Class I		≤0,36	7,5–8,2	≤5	≤400	≤50	≤2	≤0,5	≤0,8	≤68,3	0,5	≤50	≤0,05	≤50	0,1			≤5				10	≤0,18	10	≤31,6	≤2	≤20			≤0,05	≤2		≤50	≤1
II klasa ¹⁾ Class II		≤0,45	7,3–8,2							≤76,2	1				0,3			≤7,8		≤40		20	≤0,22	10	≤37,7									
Naturalne wody mineralne ²⁾ Natural Mineral Water					10		1				3	0,05						500			20		10		5	10								
Wody pitne ³⁾ Drinking Water		2,5	≥6,5–9,5		200	10	1				5	0,05						50		200	20		10	250	5	10								

a – minimum; minimum b – maksimum; maximum c – średnia arytmetyczna; arithmetic mean d – średnia geometryczna; geometric mean e – mediana; median n – liczba próbek; number of samples

¹⁾ Wartości wskaźników jakości wód powierzchniowych w Polsce; surface water quality guidelines in Poland (Rozporządzenie..., 2019)

²⁾ Naturalne wody mineralne; Natural Mineral Water (EU Directive 2009/54/EC Natural Mineral Water)

³⁾ Wody pitne; Drinking Water (EU Directive 1998/83/EC Drinking Water)

mniej obfite we frakcję ilową (często <10%) pokrywają prawostronną część zlewni Stoły porośniętą lasami.

Z kolei w zachodniej i południowej części analizowanego obszaru gleby utworzone z czwartorzędowych glin zwałowych i węglanowych utworów triasu, użytkowane w większości jako pola uprawne, charakteryzuje zawartość frakcji pyłowej i ilowej (powyżej 20%) (tabl. 5 i 6), wpływających korzystnie na właściwości gleb. Frakcje te składają się głównie z minerałów ilastych i wtórnych minerałów tlenkowych, decydujących o możliwości zatrzymywania zarówno pierwiastków pokarmowych roślin, jak i pierwiastków toksycznych.

Odczyn. Zróżnicowanie odczynu gleb jest związane w znacznym stopniu ze sposobem ich użytkowania, które z kolei jest uwarunkowane charakterem litologicznym podłoża geologicznego. Około 1/3 badanego obszaru pokrywają gleby leśne, które charakteryzuje odczyn bardzo kwaśny lub kwaśny (tabl. 7 i 8). Silniejsze zakwaszenie zaobserwowano w warstwie powierzchniowej (średnia pH 4,61) w porównaniu z warstwą głębszą (średnia pH 5,99) (tab. 2 i 3). W południowo-zachodniej części arkusza przeważają gleby o odczynie obojętnym, a lokalnie kwaśnym, zajmujące podobne obszary w obydwu zakresach głębokości.

Gleby terenów dzielnic zurbanizowanych i przemysłowych Tarnowskich Gór mają odczyn zasadowy, osiągający większe rozprzestrzenienie w warstwie głębszej, co wskazuje, że alkalizację można wiązać przede wszystkim z ich rozwojem na węglanowych utworach triasu. Inną z przyczyn wzrostu odczynu wierzchniej warstwy gleb jest rozpraszanie przez wiele lat pyłów ze spalania węgla, w którego popiołach średnia zawartość wapnia wynosi 14 200 mg/kg (Kalembasa i in., 2008). Inne czynniki alkalizujące to także środki stosowane do odśnieżania ulic, okresowe pylenie hałd odpadów górniczych i hutniczych oraz rozpraszanie triasowych wapieni i dolomitów eksploatowanych w pobliskich kamieniołomach. Na odczyn gleb terenów miejskich i przemysłowych wpływają też materiały budowlane stanowiące w nich domieszki (tynki, cementy, farby).

Geochemia. Przestrzenne rozmieszczenie pierwiastków w glebach wskazuje na ich silny związek ze składem chemicznym skał macierzystych w podłożu oraz wpływ sposobu użytkowania na zanieczyszczenie pierwiastkami potencjalnie szkodliwymi.

Gleby utworzone na plejstocenijskich piaskach wodnolodowcowych, charakteryzujące się udziałem frakcji piaszczystej, niekiedy przekraczającym 90%, zawierają najmniejsze ilości analizowanych pierwiastków. Dotyczy to zarówno gleb z głębokości 0,0–0,3 m, jak i 0,8–1,0 m. Niskie zawartości pierwiastków w tych glebach wiążą się z ubogim składem chemicznym skał podłoża oraz kwaśnym odczynem sprzyjającym ich ługowaniu. Gleby, dla których skałami macierzystymi są węglanowe utwory triasu, wyróżniają się wyższymi zawartościami, szczególnie wapnia i magnezu oraz zasobnością w żelazo i mangan.

W obszarach eksploatacji złóż rud Zn-Pb i ich przetwarzania, w pobliżu hałd odpadów przemysłowych i na terenach miejskich skład chemiczny gleb jest w dużym stopniu zmieniony w porównaniu do gleb naturalnych.

W wierzchniej warstwie gleb zawartość większości pierwiastków (kobaltu, chromu, miedzi, żelaza, magnezu, manganu, niklu, fosforu, strontu, tytanu i wanału), których głównym źródłem są skały macierzyste, nie odbiega od wartości tła geochemicznego regionu śląsko-krakowskiego wyrażonej wartością ich median (tabl. 2). Około dwukrotne zubożenie, zanotowano w przypadku wapnia, co wiąże się z przewagą gleb piaszczystych, zawierających mało jego związków. Jest również widoczne dwukrotne wzbogacenie gleb w bar. Wartość median zawartości kadmu i cynku pozostaje w granicach tła geochemicznego regionu, a wyraźne zanieczyszczenie (prawie trzykrotne) występuje jedynie dla ołowiu.

W południowej części arkusza, gdzie przeważają wychodnie węglanowych utworów triasu oraz czwartorzędowych glin zwałowych, w obydwu zakresach głębokości gleby zawierają najczęściej 0,40–0,80% glinu. W północnej części arkusza gleby rozwinięte na piaskach i żwirach wodnolodowcowych są ubogie w glin

(<0,40%). Duże zakwaszenie jest przypuszczalnie głównym czynnikiem wpływającym na jego wypłukiwanie i w efekcie koncentrację w osadach i wodach tego rejonu (tabl. 11 i 12).

Zawartość węgla organicznego zmienia się w warstwie gleb 0,0–0,3 m w przedziale 0,15–48,60% (tabl. 2). Najmniej zasobne w ten składnik (<3%) są gleby południowo-zachodniej części arkusza. Powyżej 12% węgla organicznego notowano zaś w glebach w otoczeniu stacji i torów kolejowych w rejonie Płuczki-Czarna Huta, co z pewnością wiąże się z rozpraszaniem węgla kamiennego podczas wielu lat jego transportowania.

W większości gleb z obydwu analizowanych warstw zawartość siarki nie przekracza 0,080%. Powyżej 0,160% siarki stwierdzono w pobliżu składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry oraz w glebach niektórych lasów zasobnych w materię organiczną, co wyraża się w obfитоści węgla organicznego.

Zawartość fosforu jest większa w warstwie gleb z głębokości 0,0–0,3 m w porównaniu z warstwą głębszą (wartości median wynoszą odpowiednio 0,038 i 0,008%). W warstwie wierzchniej na południu arkusza gleby zwykle zawierają 0,030–0,120% fosforu, a gleby większości lasów na północy <0,030%. Podobny, choć na z nieco niższymi poziomami i bardziej zróżnicowany na południu, jest rozkład przestrzenny zawartości tego pierwiastka w warstwie głębszej.

Na naturalny rozkład zawartości w glebach wielu z analizowanych pierwiastków wpływają czynniki antropogeniczne, wśród których do najważniejszych należą: historyczna eksploatacja, przetwórstwo i transport kolejowy rud Zn-Pb z rejonu Bobrownik do huty Fryderyk w Strzybnicy, oddziaływanie odcieków i pyłów hałd odpadów po wzbogacaniu kruszców, wieloletnia produkcja, składowanie i rozpraszanie substancji toksycznych produkowanych w ZCH Tarnowskie Góry oraz ścieki i odpady innych zakładów przemysłowych (w tym metalowych i maszynowych, cynkowni i galwanizerni), a także urbanizacja i transport.

Wymienione czynniki antropogeniczne w dużym stopniu wpłynęły na rozkład baru, wapnia, magnezu i strontu.

W południowo-wschodniej części arkusza gleby warstwy powierzchniowej są silnie zanieczyszczone przez bar. Zawartość >480 mg/kg tego pierwiastka zanotowano w dzielnicach Tarnowskich Gór: Osada Jana, Śródmieście-Centrum, Sowice, Lasowice, Strzybnica, a także na terenie lasów między dolinami Stoły i potoku Pniowiec. Wyraźnie większe powierzchnie gleb warstwy powierzchniowej obfitych w bar pozwalają na stwierdzenie jego pochodzenia antropogenicznego. W warstwie głębszej anomalne zawartości baru ograniczają się do znacznie mniejszych powierzchni w centrum Tarnowskich Gór i w dzielnicy Strzybnica. Maksymalną zawartość baru w warstwie powierzchniowej (47 151 mg/kg) zanotowano na terenie zadrzewionym po wschodniej stronie ul. Towarowej i w rejonie składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry (21 733 mg/kg). Powyżej 3000 mg/kg baru zawierają gleby przy ul. Cegielnianej w Lasowicach, przy ul. Św. Katarzyny w Centrum oraz w otoczeniu składowiska ZCH Tarnowskie Góry. W warstwie głębszej 63 112 mg/kg baru stwierdzono w obrębie anomalii na terenie przemysłowym przy ul. Zagórskiej w Strzybnicy.

Zanieczyszczenie barem jest związane z gromadzeniem odpadów ZCH Tarnowskie Góry, w których przez kilka dekad produkowano litopon, chlorek baru, azotan baru i siarczany baru (Zakłady..., 2017). Przez wiele lat produkcji odpady lokowano na zwałowiskach wokół zakładu, bez wykonania zabezpieczeń terenu, co spowodowało migrację baru i innych pierwiastków do środowiska. We wcześniejszych badaniach w rejonie składowiska odpadów stwierdzano 400–15 000 mg/kg baru, a także 4–1500 mg/kg strontu i 10–120 mg/kg boru (Bzowski, Dawidowski, 2007).

Występowanie anomalii tego pierwiastka w glebach Strzybnicy nie znajduje łatwego uzasadnienia. W latach 1786–1933 działała tu huta ołowiu i srebra Fryderyk, a po II wojnie światowej Zakłady Metalowe i Zakłady Mechaniczne (Huta Fryderyk...), trudno jednak powiązać używanie związków baru z tym rodzajem

produkcji przemysłowej. Być może na składowiska w Strzybnicy trafiały w jakimś okresie odpady ZCH Tarnowskie Góry.

Zanieczyszczenie barem gleb powierzchniowych w dolinach Stoły i Pniowca wpływa wyraźnie na podwyższenie jego zawartości także w osadach i wodach powierzchniowych (tabl. 16 i 17).

Wyraźnie podwyższone zawartości wapnia, magnezu i strontu (odpowiednio >2%, >0,50% i >40 mg/kg) zanotowano w glebach głębszego poziomu, rozwiniętych z wapieni i dolomitów triasu oraz w miejscach historycznej eksploatacji dolomitów kruszczoonych (w Bobrownikach i Starych Tarnowicach). Mniej wyraźnie, ale w tych samych lokalizacjach stwierdzono wzbogacenie w te pierwiastki w warstwie powierzchniowej. W glebach rejonów miejsko-przemysłowych wschodniej części arkusza, podobnie jak na terenach przylegających do linii kolejowej Bobrowniki-Strzybnica, którą przez wiele lat transportowano rudy Zn-Pn z Bobrowników do huty Fryderyk, stwierdzone anomalie mają charakter antropogeniczny. W przypadku wapnia i magnezu wzbogacenia można wiązać zarówno z rozpraszaniem odpadów po eksploatacji kruszców związanych ze skałami węglanowymi, jak i pyłów alkalicznych ze spalania paliw i domieszką materiałów budowlanych w glebach. Najsilniejsze anomalie strontu (>320 mg/kg), występujące w warstwie powierzchniowej gleb w rejonie składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry oraz w warstwie głębszej w Strzybnicy wiążą się z produkcją tych zakładów i rozpraszaniem do środowiska związków strontu (podobnie jak baru), które były stosowane jako odczynnik w procesach produkcji.

Kolejne pierwiastki, których zawartość w glebach jest związana zarówno z ich obecnością w materiale macierzystym, jak i oddziaływaniem czynników antropogenicznych to żelazo i mangan. Ich rozkład przestrzenny jest zbliżony w glebach z obydwu zakresów głębokości, a najmniejszymi zawartościami charakteryzują się piaszczyste gleby lasów na północy obszaru arkusza (odpowiednio <0,50% żelaza i <200 mg/kg manganu). W części południowo-zachodniej żelazo notowano zwykle w zakresie 0,50–2,00%, a mangan od 200 do 800 mg/kg. W bliskim otoczeniu hałd odpadów występują lokalne zwiększenia zawartości obydwu pierwiastków, których źródłem są prawdopodobnie wietrzejące odpady dolomitów kruszczoonych bogate w rozkładające się siarczki żelaza (Migaszewski, Gałuszka, 2016).

Obrazy przestrzenne rozkładu kobaltu, chromu, niklu, tytanu i wanału są podobne do rozprzestrzenienia żelaza i manganu, co wskazuje na skały podłoża jako ich zasadnicze źródło.

Anomalie zawartości miedzi są prawdopodobnie efektem wytwarzania siarczynu miedzi w procesach produkcyjnych ZCH Tarnowskie Góry (Majer, 2004; Zakłady..., 2017). Innym jej źródłem mogą być spływy odcieków z torowisk kolejowych (Wiłkomirski i in., 2011; Stojić i in., 2017). Silne zanieczyszczenie miedzią powierzchniowej warstwy (>160 mg/kg) stwierdzono w rejonie stacji kolejowej Tarnowskie Góry i składowiska odpadów ZCH oraz w części gleb aluwialnych doliny Stoły, której osady są również zanieczyszczone tym pierwiastkiem. Maksymalne zawartości miedzi zanotowano na terenie kolejowym w Lasowicach w rejonie ul. Fabrycznej (2266 mg/kg) i na terenie Czarnej Huty (1165 mg/kg) oraz w dolinie Stoły w pobliżu oczyszczalni ścieków w Repeckiem (1977 mg/kg) i w rejonie Piaszcznej (1867 mg/kg). W zachodniej i północnej części arkusza gleby powierzchniowe zawierają zazwyczaj <20 mg/kg tego pierwiastka, a gleby warstwy głębszej często <10 mg/kg.

Rtęć w większości gleb stwierdzono w zakresie zbliżonym do wartości tła geochemicznego (<0,10 mg/kg). W dzielnicach zurbanizowanych, w pobliżu obiektów przemysłowych, a także w niektórych glebach podmokłych lasów zaznaczają się jej niewielkie podwyższenia (0,20–0,40 mg/kg), których źródłem może być opad pyłów atmosferycznych ze spalania paliw (Bojakowska, Sokołowska, 2001; Hłańczka, 2008).

W rejonach eksploatacji złóż rud Zn-Pb i ich wzbogacania, wokół miejsc historycznego wytopu srebra z galeny i w obszarze działania huty cynku Fryderyk oraz

w otoczeniu hałd i wysypisk po tej działalności stwierdzono anomalie antropogeniczne srebra, arsenu, kadmu, ołowiu i cynku w glebach z obydwu analizowanych zakresów głębokości.

Lokalne anomalie srebra (>1 mg/kg), arsenu (>40 mg/kg) i kadmu (>8 mg/kg) o podobnym zasięgu w warstwie powierzchniowej gleb oraz na głębokości 0,8–1,0 m zanotowano w miejscach zrehabilitowanych starych hałd po eksploatacji rud Zn-Pb w południowo-wschodniej części obszaru arkusza oraz w dolinie Stoły.

Do najbardziej zanieczyszczonych arsenem należą gleby warstwy wierzchniej w północnym obrzeżeniu składowiska odpadów ZCH (997 mg/kg) oraz w dolinie Stoły w okolicy Piasecznej (720 mg/kg).

Gleby zanieczyszczone kadmem zajmują większe powierzchnie w warstwie powierzchniowej, a w miejscach anomalii ich intensywność jest większa w warstwie głębszej. We wschodnich i centralnych dzielnicach miasta Tarnowskie Góry często notowano >4 mg/kg kadmu, podczas gdy na północy i zachodzie arkusza były to zawartości <1–2 mg/kg. W warstwie powierzchniowej gleb powyżej 60 mg/kg kadmu zawierają gleby w dolinie Stoły w rejonie Piasecznej, osiedla Pufferki i w pobliżu ul. Bytomskiej w Centrum Tarnowskich Gór. W warstwie głębszej powyżej 100 mg/kg kadmu stwierdzono w glebach w Piekarach Rudnych (w rejonie ul. Kopalnianej) i w dolinie Stoły (w rejonie ul. Grodzkiej).

Największe skażenie gleb jest związane z kumulacją w nich ołowiu i cynku. Obszary silnych anomalii tych pierwiastków pokrywają się z anomaliami arsenu i kadmu, ale obejmują znacznie większe powierzchnie, zwłaszcza na głębokości 0,0–0,3 m.

Anomalie ołowiu (>250 mg/kg) i cynku (>1000 mg/kg) w glebach z obydwu zakresów głębokości obejmują na wschodzie arkusza teren dzielnic/osiedli: Bobrowniki, Kolonia Staszica, Osada Jana, Lyszcze, Kartuszwiec, Centrum, Czarna Huta i Sowice, a wzdłuż doliny Stoły teren Pufferki, Repeckie, Piaseczna i Strzybnica. Na typowo antropogeniczne zanieczyszczenie gleb ołowiem i cynkiem wskazuje porównanie rozkładu tych pierwiastków w warstwie powierzchniowej i głębszej badanych gleb (odpowiednio tabl. 46 i 47 oraz 61 i 62). Poza obszarami silnych anomalii w warstwie powierzchniowej przeważają gleby o zawartości 50–100 mg/kg ołowiu i 100–250 mg/kg cynku, a w warstwie głębszej te zawartości są znacząco mniejsze.

Gleby warstwy powierzchniowej najsilniej skażone ołowiem (>10 000 mg/kg) stwierdzono w rejonie ul. Rudnej i Strzeleckiej w Centrum oraz w rejonie Piasecznej. Maksymalną zawartość cynku (37 005 mg/kg) zanotowano w glebach doliny Stoły w rejonie Piasecznej, a zawartości >7000 mg/kg w glebach w wyższym jej biegu (osiedle Pufferki) i w rejonie ul. Rudnej, gdzie w warstwie głębszej zanotowano zawartość 24 201 mg/kg.

Rozpowszechnienie związków arsenu, kadmu, ołowiu i cynku w glebach, z których mogą przenikać do wód jest przyczyną wielu chorób stwierdzonych u ludzi w różnych krajach świata (Kabata-Pendias, Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, Szteke, 2015; Migaszewski, Gałuszka, 2016). Specjalnej ochrony wymagają gleby uprawne, rozpowszechnione zwłaszcza w zachodniej części obszaru arkusza. Zanieczyszczone pierwiastkami potencjalnie szkodliwymi mogą oddziaływać negatywnie na organizmy żywe gleb i uprawiane na nich rośliny jadalne. Z punktu widzenia przenoszenia zanieczyszczeń w łańcuchu troficznym i powodowanie ryzyka zdrowotnego na szczególną uwagę zasługują arsen, kadm, rtęć i ołów (Gruszecka-Kosowska i in., 2020).

Z uwagi na łatwość kumulacji w glebach i szkodliwe oddziaływanie nadmiaru arsenu, kadmu, ołowiu i cynku dla roślin i mikroorganizmów bytujących w glebach, oszacowano wielkość powierzchni arkusza zanieczyszczonych w różnym stopniu tymi metalami (tab. 6). Zanieczyszczenie arsenem dotyczy niewielu gleb. Jego zawartość określaną jako szkodliwa (>100 mg/kg) stwierdzono w 0,98% gleb warstwy powierzchniowej i 0,46% gleb warstwy głębszej. W niektórych lokalizacjach występuje istotne zanieczyszczenie gleb kadmem, ołowiem i cynkiem. W warstwie

Tabela 6
Table

Udział obszarów zajmowanych przez gleby o różnych zawartościach arsenu, kadmu, cynku i ołowiu na głębokości 0,0–0,3 m i 0,8–1,0 m

Share of areas with various content of arsenic, cadmium, lead and zinc in topsoil (0.0–0.3 m) and subsoil (0.8–1.0 m)

Pierwiastek Element	Zawartość Content mg/kg	Powierzchniowa warstwa gleb Topsoil 0,0–0,3 m		Podglebie Subsoil 0,8–1,0 m	
		Obszar/Area		Obszar/Area	
		km ²	%	km ²	%
As	<10	67,43	81,73	73,74	89,38
	10–25	10,54	12,78	5,75	6,97
	25–50	2,91	3,53	1,98	2,40
	50–100	0,81	0,98	0,64	0,77
	>100	0,81	0,98	0,38	0,46
Cd	<2	57,94	70,22	74,83	90,70
	2–5	16,05	19,47	3,77	4,57
	5–10	4,84	5,86	1,98	2,40
	10–15	1,80	2,18	0,70	0,85
	>15	1,86	2,25	1,21	1,47
Pb	<100	35,85	43,46	70,86	85,89
	100–200	20,72	25,11	3,90	4,73
	200–500	16,25	19,70	3,45	4,18
	500–600	1,86	2,25	0,44	0,54
	>600	7,82	9,47	3,84	4,65
Zn	<300	63,02	76,39	89,30	73,67
	300–500	6,57	7,97	2,17	1,79
	500–1000	6,20	7,52	3,64	3,00
	1000–2000	3,85	4,66	2,48	2,05
	>2000	2,85	3,45	2,40	1,98

powierzchniowej 2,25% gleb zawiera >15 mg/kg kadmu, 9,47% gleb >600 mg/kg ołowiu, a 3,45% gleb >2000 mg/kg cynku. Na głębokości 0,8–1,0 m zmniejsza się udział gleb zanieczyszczonych tymi metalami i wynosi odpowiednio 1,47% dla kadmu, 4,65% dla ołowiu i 1,98% dla cynku.

Dla gleb z warstwy 0,0–0,3 m przeprowadzono ocenę stopnia zanieczyszczenia metalami, klasyfikując je do grup użytkowania I–III i IV na podstawie zawartości dopuszczalnych (Rozporządzenie..., 2016). Ze względu na zawartość arsenu, baru, chromu, cynku, kadmu, kobaltu, miedzi, niklu, ołowiu i rtęci do grup I–III (spełniających warunki wielofunkcyjnego użytkowania – zabudowa mieszkaniowa, użytki rolne i lasy) zaliczono od 88,27 do 100% analizowanych gleb. Do grupy IV (gleb, które mogą być przydatne tylko jako tereny przemysłowe) zaliczono od 0,60 do 4,66% gleb, zaś od 0,45 do 9,47% to gleby o zawartości ponadnormatywnej metali (tab. 7). W wielu przypadkach aktualne użytkowanie terenu jest niewłaściwe i wymaga monitorowania, a także rekultywacji. Przykład klasyfikacji gleb (w formie kartograficznej) ze względu na dopuszczalną zawartość kadmu, wskazującą właściwy sposób użytkowania (zgodnie z Rozporządzeniem..., 2016) przedstawia mapa rozkładu zawartości tego pierwiastka (tabl. 63). Niektóre rejon w południowo-wschodniej części arkusza i w dolinie Stoły o zawartości >15 mg/kg kadmu w glebach, powinny zostać poddane rekultywacji lub wyłączone z użytkowania.

Osady denne śródlądowych cieków i zbiorników wód stojących powstają w wyniku sedymentacji zawieszin mineralnych i organicznych pochodzących z erozji oraz wytrącania składników z wód. Ich skład chemiczny zależy od litologii, klimatu oraz sposobu zagospodarowania i użytkowania obszaru zlewni (Zgłobicki, 2008; Hinwood i in., 2012; Cánovas i in., 2015).

Występowanie podwyższonych (najczęściej nienaturalnych) zawartości pierwiastków w osadach jest w głównej mierze skutkiem działalności gospodarczej. Na terenach uprzemysłowionych, zurbanizowanych i rolniczych ich akumulacja jest związana przede wszystkim z najdrobniejszą frakcją osadów. Mogą gromadzić się w nich potencjalnie szkodliwe pierwiastki śladowe i związki organiczne pochodzące ze ścieków przemysłowych i komunalnych odprowadzanych do wód powierzchniowych, z odcieków ze składowisk odpadów oraz ze spływów obszarowych (Ciszewski, 1997, 2002, 2005; Bojakowska i in., 2006; Kozieł, Zgłobicki, 2010; Sojka i in., 2013; Cempel i in., 2014). Wysokie stężenia zarówno metali ciężkich (cynku, miedzi, chromu, kadmu, ołowiu, rtęci), jak i trwałych zanieczyszczeń organicznych mogą powodować ich kumulację w łańcuchu troficznym do zawartości, które są toksyczne dla organizmów wodnych. W następstwie procesów biologicznych, chemicznych i fizycznych szkodliwe składniki osadów mogą ulegać ponownemu uruchomieniu do wody (Friese, 2002; Harnischmacher, 2007), a zanieczyszczone osady przemieszczone na tarasy zalewowe są przyczyną wzrostu stężeń wielu substancji w glebach dolin rzecznych (Ibragimow i in., 2010).

W granicach obszaru objętego arkuszem, badano osady denne cieków i zbiorników zlewni Dramy, Stoły i potoku Pniowiec; obszary ich zlewni przedstawiono schematycznie na figurze 3.

W osadach niezanieczyszczonych rzek i strumieni na terenie Polski zawartość kobaltu, arsenu, niklu i ołowiu nie przekracza kilku-kilkunastu mg/kg. Zawartość kadmu jest poniżej 0,5 mg/kg, a rtęci <0,05 mg/kg (Lis, Pasieczna, 1995b). W obszarach zlewni analizowanych cieków na terenie arkusza stwierdzono wielokrotnie większe zawartości tych pierwiastków chemicznych (tab. 4).

Drama i jej zlewnia. Drama wraz z dopływami (Dopływ spod Wilkowic, Dopływ z Laryszowa, Starotarnowicki Potok) odwadnia południowo-zachodnią część analizowanego obszaru. Jej początkowy odcinek jest nazywany niekiedy Rowem Rzepeckim. Rzeka drenuje obszar, który budują osady węglanowe triasu pokryte glinami lodowcowymi i piaskami wodnolodowcowymi czwartorzędu (tabl. 1).

Dominującym działem gospodarki na terenie zlewni jest rolnictwo, które stwarza zagrożenie środowiska wodnego składnikami nawozów sztucznych i pestycydów. Źródłami zanieczyszczeń są też zrzuty ścieków z oczyszczalni Repty „Veolia”, ścieki bytowe z małych gospodarstw i spływy z dróg. Największe obciążenie osadów metalami jest związane jednak z drenażem obszaru historycznej eksploatacji rud Zn-Pb w rejonie Rept (w tym dawnej osady Srebrna Góra), gdzie w latach 1830–1927 działała kopalnia Segiet (Degenhardt, 1870; Geognostische Karte..., Statystyka..., 1928). Eksploatację prowadzono za pomocą płytkich wyrobisk na obszarze o powierzchni ok. 0,7 km² (Pradela, Solariski, 2013). Przez sztolnie w okresie kilku dekad do Dramy trafiały również wody z kopalni rud Zn-Pb Fryderyk w Bobrownikach (Piernikarczyk, 1933).

Wyniki analiz chemicznych glinu, baru, wapnia, kobaltu, magnezu, niklu, fosforu, siarki, strontu i wanadu w osadach zlewni Dramy są zbliżone do wartości określonych jako tło geochemiczne regionu śląsko-krakowskiego (tab. 4).

Zawartość glinu najczęściej mieści się w zakresie 0,27–0,73%, a lokalnie przekracza 1%. Arsen stwierdzono w większości osadów zlewni w granicach zawartości naturalnej (4–10 mg/kg). W niektórych osadach górnego biegu Dramy (Rowu Rzepeckiego) zawartość arsenu wynosi 70–75 mg/kg, a maksymalnie osiąga 148 mg/kg.

Tabela 7
Table

Klasyfikacja gleb z głębokości 0,0–0,3 m ze względu na dopuszczalną zawartość pierwiastków potencjalnie toksycznych

Topsoil (0.0–0.3 m) classification according to the permissible content of potentially toxic elements

Pierwiastek Element	Wartości dopuszczalne stężeń w glebie (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r.) Permissible limit values in soil (Decree of the Polish Ministry of the Environment of 1 st September 2016)			Liczba próbek /udział procentowy próbek w grupach użytkowania Number of samples/percentage of samples according to the pollution degree		
	Grupa I–III Group I–III	Grupa IV Group IV	A	Grupa I–III Group I–III	Grupa IV Group IV	A
	mg/kg					
As	<50	50–100	>100	1304 98,04%	13 0,98%	13 0,98%
Ba	<1000	1000–1500	>1500	1274 95,79%	41 3,08%	15 1,13%
Cr	<500	500–1000	>1000	1330 100%	–	–
Zn	<1000	1000–2000	>2000	1222 91,88%	62 4,66%	46 3,46%
Cd	<10	10–15	>15	1271 95,56%	29 2,18%	30 2,26%
Co	<100	100–200	>200	1330 100%	–	–
Cu	<300	300–600	>600	1316 98,95%	8 0,60%	6 0,45%
Ni	<300	300–500	>500	1330 100%	–	–
Pb	<500	500–600	>600	1174 88,27%	30 2,26%	126 9,47%
Hg	<10	10–30	>30	1330 100%	–	–

Grupa I–III – obszary zabudowy mieszkaniowej, użytków rolnych i lasów
Group I–III – agricultural, forest and residential areas
Grupa IV – obszary przemysłowe
Group IV – industrial areas
A – obszary o zawartości ponadnormatywnej
areas with oversized content

Koncentracje wapnia i magnezu charakteryzuje znaczna zmienność; odpowiednio w zakresie 0,08–2,92% oraz 0,03–1,42%. Największe zawartości tych pierwiastków zanotowano w miejscach historycznej eksploatacji kruszców w rejonie Rept i Starych Rept oraz w osadach ciekłu płynącego równoległe do Dramy przed ujściem Dopływu spod Wilkowic odwadniającego teren łąkowy.

Zawartość rtęci w większości osadów zlewni jest zbliżona do poziomu regionalnego tła geochemicznego (0,06 mg/kg). W niektórych osadach zanotowano podwyższoną zawartość tego pierwiastka (0,20–0,36 mg/kg) spowodowaną prawdopodobnie przez źródła antropogeniczne.

W osadach górnej części zlewni Dramy (Rzepeckiego Rowu) zaznacza się wyraźna kumulacja pierwiastków obecnych w rudach Zn-Pb; srebra (2–12 mg/kg), kadmu (30–108 mg/kg), ołowiu (1240–13 880 mg/kg) i cynku (1620–9010 mg/kg). Wysoka zawartość żelaza (2–9%) oraz manganu (1700–2490 mg/kg) i niklu (>20 mg/kg) w osadach tej części zlewni prawdopodobnie wiąże się z występowaniem i historyczną eksploatacją limonitowych rud żelaza (Nowak, 1927).

Pniowiec i jego zlewnia. Porośnięta lasami północno-wschodnia część obszaru arkusza należy do zlewni potoku Pniowiec, który wpada do Stoły poniżej oczysz-

czalni ścieków Strzybnica. Obszar zlewni pokrywają piaski i żwiry wodnolodowcowe (tabl. 1), pod którymi zalegają osady triasu (w tym dolomity kruszconośne). Rudy Zn-Pb wydobywano z nich na tym terenie już od XVI w. w kilkudziesięciu szybach, a w XIX w. w ośmiu kopalniach (Filak, 2019). Erozja gleb zanieczyszczonych przez dawną płytką eksploatację rud Zn-Pb w górnej części strumienia Pniowiec to główne źródło metali w osadach zlewni.

Osady Pniowca (głównie na odcinku między Tłuczykątem a Stawem Siwcowym), a także jego licznych dopływów z terenów leśnych są również zanieczyszczone metalami. Lokalnie stwierdzono zawartości 20–55 mg/kg kadmu, 150–360 mg/kg ołowiu i 500–6925 mg/kg cynku.

W górnej części zlewni większość osadów obfituje w glin (1,50–3,82%) i bar (300–1133 mg/kg). Są też wzbogacone w kobalt (20–115 mg/kg), żelazo (5,00–12,89%), mangan (3500–22 110 mg/kg) i wanad (40–140 mg/kg). Najbardziej prawdopodobnym źródłem większości tych pierwiastków wydaje się drenaż rozproszonych odpadów po eksploatacji rud Zn-Pb i limonitów. Źródłem baru mogą być rozpraszane odpady ZCH Tarnowskie Góry, w których przez kilka dekad produkowano chlorek baru, azotan baru i siarczan baru (Zakłady..., 2017). Koncentrację metali w namulach i torfach dolin strumieniowych ułatwia skład mineralny osadów bogatych w materię organiczną, tlenki i wodorotlenki żelaza i manganu oraz minerały ilaste.

Stoła i jej zlewnia. Rzeka rozpoczyna bieg w dzielnicy Bobrowniki. W górnej części jej zlewni na powierzchni i pod niewielkim przykryciem osadów czwartorzędzów zalegają triasowe dolomity kruszconośne zawierające rudy cynku i ołowiu (Biernat, 1954; reambulacja Wilanowski, Lewandowski, 2016). Źródłem zanieczyszczenia osadów Stoły są przede wszystkim pozostałości hałd odpadów popłuczkowych po eksploatacji rud Zn-Pb. Największe zawartości metali występują w górnym biegu rzeki, gdzie od XVI w. były zlokalizowane płuczki rudy. Zanotowano tu 2–10 mg/kg srebra, 3,1–237,7 mg/kg kadmu, 316–4030 mg/kg ołowiu i 680–6010 mg/kg cynku.

W składzie osadów zlewni Stoły w granicach arkusza zwraca uwagę kumulacja chromu i miedzi odpowiednio do 227 i 736 mg/kg. Maksymalne zawartości tych metali występują na odcinku poniżej składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry, poniżej Strzybnicy oraz w osadach ciekłu bez nazwy wpadającego do Stoły przed ujściem potoku Pniowiec. Silne zanieczyszczenie miedzią powierzchniowej warstwy gleb (>160 mg/kg) stwierdzone w rejonie stacji kolejowej Tarnowskie Góry i składowiska odpadów ZCH wskazuje na jej pochodzenie antropogeniczne (stosowanie siarczanu miedzi w procesach produkcyjnych tych zakładów). Być może miedź pochodzi też ze zrzutów ścieków przemysłowych z zakładów przemysłu maszynowego zlokalizowanych we wschodniej części Tarnowskich Gór (CHEMET – producent zbiorników ciśnieniowych i cystern kolejowych).

Osady najsilniej zanieczyszczone chromem i innymi metalami stwierdzono w ciekłu bez nazwy odwadniającym rejon starych składowisk odpadów po byłej hucie srebra i ołowiu Fryderyk, później fabryce wyrobów ołowianych i odlewni żelaza w Strzybnicy. Huta Fryderyk prowadziła działalność w latach 1786–1933, a od 1946 r. trwa tu produkcja zakładów metalowych wytwarzających maszyny i urządzenia dla przemysłu górniczego (Huta Fryderyk..., Nowak i in., 2014). Największe zanieczyszczenia osadów metalami zanotowano w górnym odcinku ciekłu, który wpada do Stoły tuż przed ujściem do niej strumienia Pniowiec. Zanotowano tu 3–5 mg/kg srebra, 19,1–111,8 mg/kg kadmu, 400–1551 mg/kg ołowiu oraz 1800–10 820 mg/kg cynku. W tych osadach znacząca jest też zawartość chromu (67–102 mg/kg), miedzi (219–482 mg/kg), żelaza (1,14–5,25%) i rtęci (0,47–2,34 mg/kg).

Osady górnego biegu Stoły są znacznie zanieczyszczone przez rtęć. Jej zawartości przekraczają często 1–2 mg/kg, a maksymalnie stwierdzono 12,65 mg/kg. W lewobrzeżnej części zlewni osady potoków i rowów są niekiedy zanieczyszczone punktowo przez kadm, ołów i cynk.



Fig. 3. Lokalizacja cieków i zbiorników wód stojących oraz obszary zlewni (wg Mapa..., 2019)

WODY POWIERZCHNIOWE

Oddziaływanie antropogeniczne na zasoby wodne ma zarówno wymiar ilościowy (zmiana stosunków wodnych), jakościowy (zanieczyszczenia wód, zmiany chemizmu), jak i morfologiczny (przekształcenia kształtu koryt cieków czy mis zbiorników). W ostatnim stuleciu znaczące zmiany jakości wód były spowodowane głównie zwiększoną dostawą zanieczyszczeń chemicznych i biogenów (Hajdukiewicz i in., 2013; Gromiec, 2014).

Źródłem zagrożenia dla jakości wód powierzchniowych są spływy z terenów przemysłowych, rolniczych i ogrodniczych, odcieki ze składowisk odpadów i zrzuty ścieków. W obszarach eksploatacji kopalni jednym z najważniejszych problemów są zrzuty wód kopalnianych do rzek i strumieni prowadzone w trakcie i po zaprzestaniu wydobycia, powodujące zmiany chemiczne wód. Niekorzystne zmiany prowadzą w konsekwencji do skutków ekologicznych, polegających na zaburzeniu warunków siedliskowych, ustępowaniu określonych gatunków i zmniejszaniu się bioróżnorodności.

Przeprowadzone badania wód powierzchniowych dotyczyły oceny zawartości ich wybranych składników chemicznych oraz przewodności elektrolitycznej właściwej i odczynu. Zakresy zawartości poszczególnych pierwiastków, składników oraz pH i EC wód na analizowanym obszarze, wraz z wynikami ich obliczonych parametrów statystycznych przytoczono w tabeli 5. W celu porównania zamieszczono w niej wartości wskaźników jakości wód powierzchniowych stosowanych w Polsce, przyjmując wartości określone dla małych i średnich rzek na podłożu

węglanowym (Rozporządzenie..., 2019). Dodatkowo przytoczono wartości wskaźników dla wód mineralnych i wód pitnych według zaleceń UE (EU Directive 1998/83/EC; EU Directive 2009/54/EC).

Wartość odczynu wód w obszarze arkusza zmienia się od 4,7 do 8,5, nie spełniając zaleceń normatywnych w niektórych ciekach. Wody o pH < 7 występują lokalnie w strumieniach i rowach odwadniających tereny leśne na północy arkusza. Odczynem > 8 wyróżniają się wody Dramy w rejonie Rept (na odcinku między szymbami Sylwester i Ewa). Średnia mineralizacja, wyrażana wartością EC (0,53 mS/cm), przekracza wartość graniczną dla wód II klasy (Rozporządzenie..., 2019).

Drama i jej zlewnia. Wody zlewni Dramy należą do pozaklasowych, choć odwadnia ona jedynie tereny rolnicze. Mediana zawartości wapnia, magnezu, fosforu i siarczanów przekracza granicę dla wód II klasy (tab. 5).

Wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wód zlewni zmienia się w przedziale 0,38–1,70 mS/cm a odczyn w granicach 6,3–8,3. Podwyższoną mineralizację wód (EC > 1 mS/cm) zanotowano w Potoku Starotarnowickim poniżej oczyszczalni ścieków oraz w strumieniu bez nazwy odwadniającym Wilkowice. W obydwu przypadkach głównym obciążeniem wód jest przypuszczalnie zawartość fosforu (> 1 mg/dm³ w Potoku Starotarnowickim i > 3,5 mg/dm³ w strumieniu od Wilkowic). Są to wody obfitujące też w sód (> 100 mg/dm³) i siarczany (> 100 mg/dm³). Źródłem tych składników są przypuszczalnie spływy powierzchniowe z nawożonych pól i zrzuty ścieków komunalnych zawierających detergenty.

O wpływie zrzutu wód z historycznych kopalń kruszców na chemizm wód zlewni świadczy zawartość talu i cynku. W większości badanych wód zawartość talu wynosi < 0,05–0,09 µg/dm³, a cynku 0,004–0,058 mg/dm³. Po dopływie wód ze sztolni Czarnego Pstrąga zawartość tych pierwiastków wzrasta odpowiednio do 0,22–0,24 µg/dm³ i 0,130–0,163 mg/dm³. Wzbogacenie wód w wapń wiązać można z tym samym źródłem. Nie zanotowano przekroczenia norm zawartości innych metali ciężkich. Wyjątkiem jest punktowa anomalia zawartości niklu (228,3 mg/dm³) w wodach Dramy poniżej szybu Adam.

Wody Dopływu z Laryszowa są lokalnie zanieczyszczone w rejonie tej wsi. Zawierają 4,05 µg/dm³ kadmu, 113,64 µg/dm³ molibdenu i 0,422 mg/dm³ cynku.

Pniowiec i jego zlewnia. Wartość przewodności elektrolitycznej wód zlewni wskazuje na ich niewielkie zasolenie (mediana EC wynosi 0,41 mS/cm). Odczyn zmienia się w granicach 4,7–8,5. Wody o pH < 7, zaliczone do pozaklasowych, pochodzą przede wszystkim z małych cieków terenów leśnych w północno-wschodniej części arkusza. Zakwaszenie wód strumienia i jego dopływów jest związane z występowaniem w zlewni gleb charakteryzujących się bardzo niskim pH i wymywaniem materii organicznej ze ściółki leśnej. Kwaśny odczyn wód wpływa na uruchomienie żelaza i glinu, co zaznacza się w składzie analizowanych wód.

Ze względu na wartość stężenia żelaza (mediana > 0,3 mg/dm³) większość wód zlewni zaliczono do pozaklasowych. Wody rowów w zlewni strumienia zawierają do 10,46 mg/dm³ żelaza, a także do 16,221 mg/dm³ manganu.

Niektóre wody prawobrzeżnych dopływów Pniowca zaliczono do pozaklasowych z uwagi na zawartość glinu (400–4035,3 µg/dm³) związaną prawdopodobnie z jego wypłukiwaniem z osadów (mad) dolin rzecznych. W wodach obfitujących w glin zaznacza się też lokalne podwyższenie zawartości kadmu (do 20,49 µg/dm³), kobaltu (do 23,00 µg/dm³), berylu (do 0,89 µg/dm³), ołowiu (do 31,61 µg/dm³), wanału (do 10 µg/dm³) i cynku (do 4,713 mg/dm³).

Wody cieku płynącego od Łąk Sosnowieckich do Tłuczykąta obciąża bor pochodzący z odwadniania składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry (0,77–1,22 mg/dm³ w górnym biegu).

Zawartość talu (do 0,53 µg/dm³) nie przekracza granicy dla wód I i II klasy jakości. Wyniki badań innych pierwiastków wykazują niedużą zmienność ich stężeń i nie wskazują na zanieczyszczenie.

Stoła i jej zlewnia. Na chemizm wód zlewni wpływają przede wszystkim odcieki z odwadniania składowiska ZCH i zrzuty ścieków (z oczyszczalni Leśna

w Strzybnicy i Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Tarnowskich Górach). Większość wód Stoły charakteryzuje wartość przewodności elektrolitycznej właściwej powyżej 1 mS/cm (maksymalnie 1,44 mS/cm), świadcząca o znacznej mineralizacji. W wodach zarówno jej prawobrzeżnych, jak i lewobrzeżnych dopływów wartość EC jest znacznie niższa. Najczęściej mieści się w zakresie 0,20–0,50 mS/cm. Odczyn wód zlewni zanotowano w granicach 4,8–8,3. Do wód pozaklasowych (pH < 7,3) zaliczono 30% próbek wód zlewni.

W pokrytej lasami północno-zachodniej części zlewni zwraca uwagę wysoka zawartość glinu w wodach małych cieków (lokalnie > 1000 µg/dm³), podczas gdy w wodach Stoły notowano najczęściej 10–30 µg/dm³ tego pierwiastka.

W górnym biegu Stoły (szczególnie na odcinku od oczyszczalni ścieków w Sowiach do Koloni Piaseczna Mała) wody obciąża zawartość kilku pierwiastków. Należą do nich bor (12–16 mg/dm³), bar (0,708–1,338 mg/dm³), mangan (0,717–0,925 mg/dm³) i stront (0,809–0,998 mg/dm³). Ze względu na zawartości boru i baru większość tych wód zaliczono do pozaklasowych.

W wodach Stoły stwierdzono stężenie fosforu często w zakresie 1–2 mg/dm³; maksymalnie 4,56 mg/dm³, a znacznie więcej tego pierwiastka zawierają wody jej dopływów (do 6,24 mg/dm³). W wodach Stoły zwraca uwagę zawartość molibdenu przekraczająca 20 µg/dm³ w jej górnym biegu i osiągająca 10–15 µg/dm³ w odcinku środkowym i dolnym. Jego źródła można upatrywać w zrzutach ścieków przemysłowych. W wodach dopływów Stoły w zachodniej części zlewni naturalna zawartość tego pierwiastka zazwyczaj nie przekracza 0,05 µg/dm³. W górnym biegu rzeki wody są też zanieczyszczone przez nikiel, którego zawartość waha się w zakresie 115,5–606,9 µg/dm³. Większość wód zlewni Stoły charakteryzuje wysoka zawartość wapnia (do 116,1 mg/dm³), magnezu (do 115,6 mg/dm³) i siarczanów (do 710 mg/dm³). Ze względu na koncentrację żelaza część wód zlewni zaliczono do pozaklasowych. W kilku lokalizacjach jego zawartość przekracza 1 mg/dm³, osiągając maksymalnie 6,71 mg/dm³ w wodach potoku bez nazwy płynącego od Kopaniny. W kilku lokalizacjach na terenie zlewni zanotowano zanieczyszczenie wód kadmem, którego stężenie wynosiło kilka µg/dm³.

WNIOSKI

1. Antropogenicznymi źródłami zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego są: odcieki z hałd odpadów popłuczkowych i zrzuty wód kopalnianych po historycznej eksploatacji i przetwórstwie rud cynkowo-ołowiowych, odcieki ze składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry oraz z zakładów metalowych i cynkowni a także zrzuty ścieków przemysłowych i komunalnych, spływy powierzchniowe z terenów rolniczych, obszarów zurbanizowanych, dróg i szlaków kolejowych.

2. Skład granulometryczny badanych gleb jest wyraźnie związany z litologią materiału macierzystego; na całym obszarze objętym arkuszem przeważają gleby piaszczyste.

3. Zróżnicowanie odczynu gleb jest związane w znacznym stopniu ze sposobem ich użytkowania. Odczyn bardzo kwaśny lub kwaśny charakteryzuje gleby leśne północnej części arkusza, na pozostałym obszarze przeważają gleby o odczynie obojętnym, a na terenach miejskich gleby zasadowe. Alkaliczność jest spowodowana przez opad pyłów, głównie ze spalania węgla dla celów energetyki, ciepłownictwa i przemysłu.

4. Rozkład zawartości w glebach większości pierwiastków (kobaltu, chromu, miedzi, żelaza, magnezu, manganu, niklu, fosforu, strontu, tytanu i wanału), których głównym źródłem są skały macierzyste, nie odbiega od wartości tła geochemicznego regionu śląsko-krakowskiego. Stwierdzono około dwukrotne wzbogacenie gleb w bar i prawie trzykrotne w przypadku ołowiu.

5. Skład chemiczny gleb w południowo-wschodniej części analizowanego obszaru i doliny Stoły jest wyraźnie zmieniony przez czynniki antropogeniczne. W rejonach eksploatacji złóż rud Zn-Pb i ich wzbogacania, wokół miejsc historycznego wytopu srebra z galeny i w obszarze działania byłej huty cynku w Strzybnicy, w otoczeniu hałd i wysypisk po tej działalności oraz wzdłuż trasy transportu rud stwierdzono anomalie antropogeniczne srebra, arsenu, kadmu, ołowiu i cynku w glebach z obydwu analizowanych zakresów głębokości.

6. Zanieczyszczenie barem i miedzią gleb, osadów i wód jest związane z oddziaływaniem składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry, zawierających związki tych pierwiastków.

7. Źródłem srebra, arsenu, kadmu, ołowiu i cynku w osadach jest drenaż hałd odpadów rud cynkowo-ołowiowych i rozproszonych miejsc wytopu z nich srebra, zaś wzbogacenie w żelazo i mangan wiąże się prawdopodobnie z historyczną eksploatacją limonitu.

8. Badane wody mają głównie odczyn zasadowy i charakteryzują się mineralizacją przekraczającą wartość graniczną dla wód II klasy. Zrzuty wód z historycznych kopalń rud Zn-Pb wpływają na nieznaczne zanieczyszczenie wód niektórych cieków przez kadm, molibden, tal i cynk. Wody cieków odwadniających rejon składowiska odpadów ZCH Tarnowskie Góry są zanieczyszczone przez bar, bor, miedź, siarczany i stront. W ciekach odprowadzających rejon oczyszczalni wody są zanieczyszczone przez fosfor.

LITERATURA

- ACOSTA J.A., MARTINEZ-MARTINEZ S., ZORNOZA R., CARMONA D.M., KABAS S., 2011 – Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behaviour in mine sites for future reclamation. *J. Geochem. Explor.*, **109**: 8–17.
- ADAMO P., ARIENZO M., BIANCO M.R., TERRIBILE F., VIOLANTE P., 2002 – Heavy metal contamination of the soils used for stocking raw materials in the former ILVA iron-steel industrial plant of Bagnoli (southern Italy). *Sci. Total Environ.*, **295**: 7–34.
- ALBANESE S., BREWARD N., 2011 – Sources of Anthropogenic Contaminants in the Urban Environment. *W: Mapping the Chemical Environment of Urban Areas* (red. Ch. Johnson, A. Demetriades i in.): 116–127. Wiley-Blackwell, Chichester.
- BAUERER A., BEBEK M., FRĄCZEK R., PAW K., KASPERKIEWICZ W., 2017 – Zmienność składu chemicznego kwaśnych wód spływu powierzchniowego z czynnej hałdy odpadów górniczych reprezentujących osady krakowskiej serii piaskowcowej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, **65**: 450–458.
- BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., PRUSINKIEWICZ Z., 2004 – Badania ekologiczno-gleboznawcze. PWN, Warszawa.
- BIERNAT S., 1954; reambulacja WILANOWSKI S., LEWANDOWSKI J., 2016 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Bytom. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G., 2001 – Rtcę w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **394**: 5–54.
- BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T., MAŁECKA K., 2006 – Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2003–2005. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- BN-78/9180-11, 1978 – Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne. Norma branżowa.

- BUŁA Z., KOTAS A. (red.), 1994 – Atlas geologiczny GZW w skali 1 : 100 000 cz. III. Mapa geologiczno-strukturalna utworów karbonu produktywnego. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BYSTRZANOWSKI L., ZASTRZEŻYŃSKA J., JARUSZOWIEC M., 2015 – Program ochrony środowiska dla powiatu tarnogórskiego na lata 2016–2020 z perspektywą do roku 2024. <https://www.bip.tarnogorski.pl/?catid=72&parca-t=11&t=more&grupa=15e3a689177b2e> (dostęp 12.01.2021).
- BZOWSKI Z., DAWIDOWSKI A., 2007 – Bor, bar i stront w zanieczyszczonych glebach i odpadach zdeponowanych w rejonie Tarnowskich Gór a obecność tych pierwiastków w wodzie Małej Panwi. Uniwersytet Zielonogórski. *Zeszyty Nauk.*, **133**: 52–61.
- CABAŁA J., 1996 – Koncentracje pierwiastków śladowych w rudach Zn-Pb i możliwość przechodzenia ich do odpadów. *Pr. Nauk. Główn. Inst. Górń., ser. Konferencje*, **13**: 17–32.
- CABAŁA J., 2009 – Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- CABAŁA J., TEPER L., 2007 – Metalliferous constituents of rhizosphere soils contaminated by Zn-Pb mining in southern Poland. *Water, Air and Soil Pollution*, **178**: 351–362.
- CÁNOVAS C.R., PEIFFER S., MACÍAS F., OLÍAS M., NIETO J.M., 2015 – Geochemical processes in a highly acidic pit lake of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Chem. Geol.*, **395**: 144–153.
- CAPPUYNS V., SWENNEN R., VANDAMME A., NICLAES M., 2005 – Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium. *J. Geochem. Expl.*, **88**: 6–9.
- CEMPIEL E., CZAJKOWSKA A., NOWIŃSKA K., POZZI M., 2014 – Przejawy antropopresji w zlewni rzeki Bytomki. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- CISZEWSKI D., 1997 – Source of pollution as a factor controlling distribution of heavy metals in bottom sediments of Chechło River (south Poland). *Environ. Geol.*, **29**: 50–57.
- CISZEWSKI D., 2002 – Zapis działalności przemysłowej w osadach fluwialnych. *W: Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym* (red. P. Szwarczewski, E. Smolska), t. 1: 23–28. Bogucki Wyd. Naukowe, Warszawa-Lomża.
- CISZEWSKI D., 2005 – Osady pozakorytowe Odry jako archiwum historii zanieczyszczenia rzeki metalami ciężkimi. *W: Współczesna ewolucja rzeźby Polski* (red. A. Kotarba, K. Krzemień, J. Święchowicz): 60–67. VII Zjazd Geomorfologów Polskich. IGiP UJ, Kraków.
- DEGENHARDT O., 1870 – Der Oberschlesien-Polnische-Bergdistrict mit Hinweglassung des Diluviums. Karte von Oberschlesien 1 : 100 000. Verlag der Landkarten handlung von J.H. Neumann, Berlin.
- EU DIRECTIVE 1998/83/EC Drinking Water.
- EU DIRECTIVE 2009/54/EC Natural Mineral Water.
- FILAK M., 2019 – Pniowiec. *Montes Tarnovicensis*, **97**. http://www.montes.pl/montes/_index.php?option=com_content&view=article&id=1057:pniowiec&catid=91:montes-tarnovicensis-nr-97&Itemid=2385 (dostęp 16.07.2020).
- FRIESE K., 2002 – Depth distribution of heavy metals in lake sediments from lignite mine pit lakes of Lusatia (Germany). *Stud. Quatern.*, **21**: 197–205.
- FUGE R., PEARCE F.M., PEARCE N.J.G., PERKINS W.T., 1993 – Geochemistry of Cd in the secondary environment near abandoned metalliferous mines, Wales. *App. Geochem., Supplement*, **2**: 29–35.
- GROMIEC M., 2014 – Zagrożenia związane z jakością wody: zanieczyszczenia i propozycje rozwiązań. *Gospodarka Wodna*, **10**: 377–383.
- GEOGNOSTISCHE KARTE von Ober-Schlesien, Section Gleiwitz, Blatt № 8.
- GRUSZECKA-KOSOWSKA A., BARAN A., WDOVIN M., MAZUR-KAJTA K., CZECH T., 2020 – The contents of the potentially harmful elements in the arable soils of southern Poland, with the assessment of ecological and health risks: A case study. *Environmental Geochemistry and Health*, **42**: 419–442.
- GRZECHNIK Z., 1978 – Historia dotychczasowych poszukiwań i eksploatacji. *W: Poszukiwanie rud cynku i ołowiu na obszarze śląsko-krakowskim. Pr. Inst. Geol.*, **83**: 23–39.
- HAJDUKIEWICZ H., WYŻGA B., ZAWIEJSKA J., AMIROWICZ A., OGŁĘC-KI P., RADECKI-PAWLIK A., 2013 – Stan środowiska rzek południowej Polski – znaczenie środowiskowe, degradacja i możliwości rewitalizacji rzek wielonurtowych (red. B. Wyżga). Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków.
- HARNISCHMACHER S., 2007 – Anthropogenic impacts in the Ruhr district (Germany): a contribution to anthropogeomorphology in a former mining region. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **30**: 185–192.
- HINWOOD A.L., HEYWORTH J., TANNER H., MCCULLOUGH C., 2012 – Recreational use of acidic pit lakes – Human Health Considerations for Post Closure Planning. *J. Water Res. Protect.*, **4**: 1061–1070.
- HŁAWICZKA S., 2008 – Rteć w środowisku atmosferycznym. Wyd. Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze.
- HUTA FRYDERYK. https://pl.wikipedia.org/wiki/Huta_Fryderyk
- IBRAGIMOW A., GŁOSIŃSKA G., SIEPAK M., WALNA B., 2010 – Wstępne badania zanieczyszczenia metalami ciężkimi osadów równin zalewowych Lubuskiego Przełomu Odry. *Pr. Stud. Geogr.*, **44**: 233–247.
- JENDRUŚ R., 2015 – Opinia górniczo-geologiczna dla ul. Klonowej i Kasztanowej w Tarnowskich Górach. Geoprojekt „Śląsk”, Katowice.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIEGER W., KWARCINŃSKI J., MARTINEC P., 2005 – Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A., 2007 – Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- KABATA-PENDIAS A., SZTEKE B., 2015 – Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments. Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton.
- KALEMBASA S., GODLEWSKA A., WYSOKIŃSKI A., 2008 – Skład chemiczny popiołów z węgla brunatnego i kamiennego w aspekcie ich rolniczego zagospodarowania. *Rocz. Gleb.*, **59**: 93–97.
- KIERSNOWSKI H., 1991 – Litostratygrafia permu północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – nowa propozycja. *Prz. Geol.*, **39**: 198–203.
- KLASYFIKACJA uziarnienia gleb i utworów mineralnych, 2008. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. <http://ssa.ptg.sggw.pl/artukul/2635/particle-size-distribution-and-textural-classes-of-soils-and-mineral-materials-classification-of-pol> (dostęp 15.07.2020).
- KONDRACKI J., 2009 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOTLICKI S., 1995 – Badania nad litostratygrafią triasu Górnego Śląska: 123–140. Arch. Państw. Inst. Geol., Sosnowiec.
- KOŚCIELNY H., ROSENBAUM S., 2013 – Tarnowskie Góry. Przyroda. Urząd Miejski w Tarnowskich Górach.
- KOZIEŁ M., ZGŁOBICKI W., 2010 – Metale ciężkie w aluwjach Wieprza na obszarze Nadwieprzańskiego Parku Krajobrazowego. *Ochr. Środ. Zas. Nat.*, **43**: 26–37.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995a – Atlas geochemiczny Polski w skali 1 : 2 500 000. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995b – Atlas geochemiczny Górnego Śląska w skali 1 : 200 000. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J., PASIECZNA A., 1997 – Anomalie geochemiczne Pb-Zn-Cd w glebach na Górnym Śląsku. *Prz. Geol.*, **2**: 182–190.
- LIS J., PASIECZNA A., 1999 – Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska w skali 1 : 25 000, ark. Sławków. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MAJER E., 2004 – Rekultywacja terenów zdegradowanych przez przemysł chemiczny na przykładzie Tarnowskich Gór. Seminarium EU GeoEnvNet Geoinżynieria środowiska – transfer doświadczeń i dyrektyw UE do nowo przyjętych państw. http://kg.sggw.pl/konf/art_en/17.pdf (dostęp 23.02.2021).
- MAJORCZYK R., 1985 – Historia górnictwa kruszcowego w rejonie Bytomia. ZUP Piekary Śląskie.
- MAJORCZYK R., 1986 – Historia górnictwa kruszcowego w rejonie bytomskim od połowy XIX wieku. Część III. *Rudy Metale*, **31**: 442–446.
- MAPA Hydrograficzna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Bytom, 2019. KZGW, Warszawa.
- MIDAS (System Gospodarki i Ochrony Bogactw Naturalnych Państwowego Instytutu Geologicznego-PIB). <http://geoportal.pgi.gov.pl/midas-web> (dostęp 25.01.2021).
- MIGASZEWSKI Z.M., GAŁUSZKA A., 2016 – Geochemia środowiska. PWN, Warszawa.
- MIKOŁAJKÓW J., SADURSKI A. (red.), 2017 – Informator PSH. Główne zbiorniki wód podziemnych w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P., 2000 – Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. Akademia Rolnicza, Poznań.
- MOLENDĄ D., 1960 – Górnictwo kruszców. *W: Zarys dziejów górnictwa na ziemiach polskich*, t. 1: 120–162. Wyd. Górniczo-Hutnicze, Katowice.
- MOLENDĄ D., 1972 – Kopalnie rud ołowiu na terenie złóż śląsko-krakowskich od XVI do XVIII wieku. Z dziejów postępu technicznego eksploatacji kruszców: 25–31. Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- NAVARRO M.C., PÉREZ-SIRVENT C., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ M.J., VIDAL J., MARIMÓN J., 2006 – Lead, cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain). *Chemosphere*, **63**: 484–489.
- NOWAK J., 1927 – Kronika miasta i powiatu Tarnowskie Góry. Księgarnia Polska Jana Nowaka w Tarnowskich Górach.
- NOWAK A., BIERNACKA-NOWAK D., SIKORA K., NOWICKI M., PŁATEK M., 2014 – Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego na obszarze całej gminy Tarnowskie Góry. Pracownia Urbanistyki i Architektury, Tarnowskie Góry.
- PASIECZNA A., 2003 – Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PASIECZNA A., 2018 – Wpływ historycznej eksploatacji rud cynkowo-ołowiowych oraz hutnictwa żelaza i cynku na zanieczyszczenie gleb w centralnej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **473**: 49–66.
- PAULO A., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2000 – Rudy metali nieżelaznych i szlachetnych. Wyd. AGH, Kraków.
- PAWLAK Z., FILAK M., 2017 – Tarnowskie Góry/UNESCO. Wyd. Stowarzyszenie Miłośników Ziemi Tarnogórskiej, Tarnowskie Góry.
- PIERNIKARCZYK J., 1984 – Sztolnia Czarnego Pstrąga w Tarnowskich Górach. Wyd. „Sport i turystyka”, Warszawa.
- PIERNIKARCZYK J., 1926 – Tarnowskie Góry. Kolebka przemysłu śląskiego. Nakładem Górnośląskiego Związku Przemysłowców Górniczo-Hutniczych, Katowice.
- PIERNIKARCZYK J., 1933 – Historia Górnictwa i hutnictwa na Górnym Śląsku 2. Nakładem Śląskiego Związku Akademickiego, Katowice.
- PN-R-04033, 1998 – Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PRADELA A., SOLARSKI M., 2013 – Rozwój górnictwa rud cynku i ołowiu w bytomsko-tarnogórskim rejonie złożowym od końca XVIII wieku do czasów współczesnych. *W: Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko* (red. R. Machowski, M.A. Rzętała), t. 14: 43–50. Wyd. UŚ, Katowice.

- PROJEKT Programu Ochrony Środowiska dla Powiatu Tarnogórskiego na lata 2016–2020 z perspektywą do roku 2024. Powiat Tarnowskie Góry. <http://doplayer.pl/64929608-Projekt-programu-ochrony-srodowiska-dla-powiatu-tarnogorskiego-na-lata-z-perspektywa-do-roku-2024.html> (dostęp 22.09.2020).
- PROGRAM Ochrony Środowiska Gminy Tarnowskie Góry do roku 2021, 2016 – Urząd Miasta Piekary Tarnowskie Góry. <https://bip.tarnowskiegory.pl/Article/get/id,81538.html> (dostęp 12.10.2020).
- RAZOWSKA-JAWOREK L., BRODZIŃSKI I., 2016 – Bytom. *W: Wody podziemne miast Polski: 3–18.* Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. DzU poz. 2149.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi. DzU poz. 1395.
- RYŻAK M., BARTMIŃSKI P., BIEGANOWSKI A., 2009 – Metody wyznaczania rozkładu granulometrycznego gleb mineralnych. *Acta Agrophysica*, **175**: 1–79.
- RZECZYCKI T., 2008 – Tarnowskie Góry: zarośnięta kopalnia pod ochroną. <http://nettg.pl/news/74437/tarnowskie-gory-zarosnieta-kopalnia-pod-ochrona> (dostęp 22.09.2020).
- SIEDLECKA A., 1964 – Osady permu na północno-wschodnim obrzeżeniu Zagłębia Górnośląskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **34**: 309–394.
- SOJKA M., SIEPAK M., GNOJSKA E., 2013 – Ocena zawartości metali ciężkich w osadach dennych wstępnej części zbiornika retencyjnego Stare Miasto na rzece Powie. *Ochrona Środowiska*, **15**: 1916–1928.
- STAN Środowiska w Województwie Śląskim, 2020 – GIOŚ, Katowice. http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/raporty/stan_srodowiska_2020_slaskie.pdf (dostęp 14.12.2020).
- STATYSTYKA Zakładów Górniczych i Hutniczych na polskim Górnym Śląsku za 1927 rok, 1928. Górnośląski Związek Przemysłowców Górniczo-Hutniczych, Z.Z. w Katowicach. <http://www.sbc.org.pl/Content/29280/iii4249-1927.pdf> (dostęp 10.10.2020).
- STOJIC N., PUCAREVIC M., STOJIC G., 2017 – Railway transportation as a source of soil pollution. *Transportation Research Part D Transport an Environment*, **57**: 124–129. DOI: 10.1016/j.trd.2017.09.024.
- SWENNEN R., VAN DER SLUYS J., 2002 – Anthropogenic impact on sediment composition and geochemistry in vertical overbank profiles of river alluvium from Belgium and Luxembourg. *J. Geochem. Explor.*, **75**: 93–105.
- SZADKOWSKA Z., GWÓŹDŹ M., 2015 – Program ochrony środowiska dla gminy Radzionków do roku 2020. Radzionków. <http://bip.radzionkow.pl/?a=17667> (dostęp 12.09.2020).
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.), 2020 – Bilans Zasobów Złóż Kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SZUWARZYŃSKI M., 1996 – Ore bodies in the Silesian-Cracow ore district, Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **154**: 9–24.
- WIECZOREK E., 2009 – Bytom i okolice. Przewodnik turystyczny. Wyd. Urząd Miejski w Bytomiu.
- WIŁKOMIRSKI B., SUDNIK-WÓJCIKOWSKA B., GALERA H., WIERZBICKA M., 2011 – Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water Air and Soil Pollution*, **218** (1–4): 333–345.
- WONG C.S.C., LI X., THORNTON I., 2006 – Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution*, **142**: 1–16.
- ZAKŁADY Chemiczne Tarnowskie Góry: ekologiczna bomba, 2017. <https://www.chemiaibiznes.com.pl/aktualnosc/zaklady-chemiczne-tarnowskie-gory-ekologiczna-bomba> (dostęp 13.05.2020).
- ZGŁOBICKI W., 2008 – Geochemiczny zapis działalności człowieka w osadach stokowych i rzecznych. Wyd. UMCS, Lublin.
- ŻERO E., 1968 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Bytom (910). Wyd. Inst. Geol., Warszawa.