



Zagrożenia osuwiskowe złóż wód mineralnych w dolinie Popradu

Mariusz Zając¹



Landslide hazards to mineral water in the Poprad valley. Prz. Geol., 70: 780–787.

A b s t r a c t. The area of the Poprad valley is particularly privileged due to the presence of mineral waters recognized in Poland as curative as well as strongly transformed by mass movements. In order to increase tourist attractiveness of the region, there is a noticeable trend of more frequent usage of landslide slopes, on which can appear recharge areas for the healing waters or zones of carbon dioxide inflow. The gas-water system on the areas of the occurrence is very sensitive and easy to destroy. Co-occurrence of recharge areas and mass movement areas, which due to uncontrolled human actions, may become active and create threat to the healing waters.

Keywords: landslides, hazards, mineral water, Poprad valley, Outer Carpathians

Przestrzeń, w granicach której przedsiębiorca jest uprawniony do wydobywania kopaliny, jest określana mianem obszaru górniczego (Ustawa, 2011). W dolinie Popradu oraz w dolinach jego dopływów utworzono 16 obszarów górniczych wód podziemnych zaliczonych do kopalin, które zajmują powierzchnię 243 km². Na badanym terenie szczawy oraz wody kwasowęglowe udokumentowano w 18 miejscowościach i udostępniono przez 116 odwiertów oraz 54 źródła (Rajchel, 2013). Wody te są surowcem balneologicznym powstającym w skomplikowanych warunkach gazowo – wodnych, gdzie do warstw wodonośnych, docierają dopływy gazowego CO₂, stwierdzone w zaledwie kilku regionach Karpat. Istotnym, choć nie zawsze docenianym zagrożeniem dla eksploatacji wód mineralnych, stref zasilania oraz infrastruktury zakładów górniczych są osuwiska. Osuwiska w Karpatach są formami pospolitymi i ze względu na wyrządzane przez nie znaczne szkody mają pewne znaczenie gospodarcze (Śliwa, Wilk, 1954; Poprawa, Rączkowski 2003).

Celem niniejszego artykułu jest podniesienie świadomości o ryzyku osuwiskowym na obszarach eksploatacji złóż wód leczniczych. Problem ten nie był często poruszany w literaturze. Dotychczasowe publikacje ograniczają się tylko do pojedynczych zdarzeń (Bargielewicz, 1961; Czop i in., 2011). Ruchy masowe mogą doprowadzić do zmian warunków zasilania w strefach występowania wód mineralnych oraz dróg migracji CO₂, powodując niekorzystne zmiany składu chemicznego wód, co może doprowadzić do utraty przez nie statusu kopaliny. W pracy przeanalizowano współwystępowanie osuwisk i obszarów górniczych wód leczniczych w dolinie Popradu oraz określono zagrożenie osuwiskowe dla tych obszarów.

LOKALIZACJA I BUDOWA GEOLOGICZNA

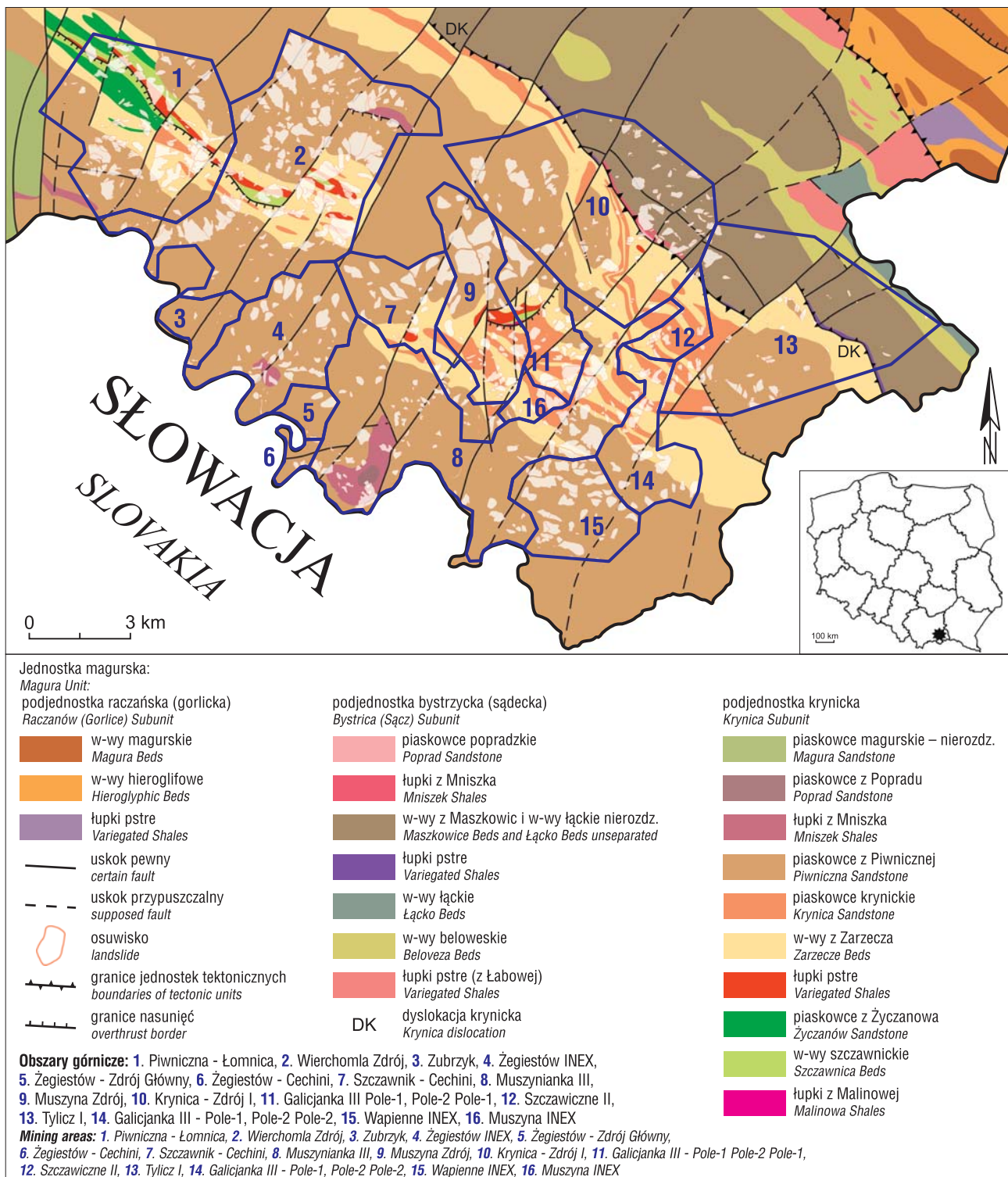
Rejon doliny Popradu jest położony na pograniczu Pasma Jaworzyny Krynickiej, Kotlinki Muszyny oraz Gór Czerkowskich (Starkel, 1972), znajdujących się we wschod-

niej części Beskidu Sądeckiego. Na wschodzie Pasma Jaworzyny Krynickiej jest oddzielone od Gór Czerkowskich rzeką Muszynką, natomiast na zachodzie kotlinką Muszyny, która jest zlokalizowana w widłach Popradu i potoków Szczawnik oraz Milik.

Obszar ten jest zbudowany z utworów fliszowych kredy i paleogenu płaszczowiny magurskiej (Józefko i in., 2013). Należą one do dwóch różniących się budową geologiczną stref tektoniczno-facjalnych, na południowym-zachodzie strefy krynickiej, natomiast na północnym-wschodzie – sądeckiej (bystrzyckiej), które rozdzielone są dyslokacją krynicką (ryc. 1). Różnią się one zarówno pod względem struktury tektonicznej, jak i facjalnego wykształcenia osadów. Podjednostka krynicka zbudowana z płaskich synklin i stromych antyklin jest wewnętrznym elementem strukturalnym płaszczowiny magurskiej, nasuniętym na bardziej zewnętrzną podjednostkę bystrzycką (sądecką) o bloko-wo-fałdowym stylu budowy (Oszczypko i in., 1999).

Podział litostratygraficzny opisywanych formacji oraz ogniw został zdefiniowany wg nomenklatury stratygraficznej przedstawionej na arkuszach *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski* – ark. Muszyna, Piwniczna, Tylicz (Golonka, Rączkowski, 1983; Chrzastkowski in., 1991; Węclawik, Wójcik, 1995). Najstarszymi utworami budującymi podjednostkę krynicką są łupki pstre z Malinowej. Powyżej występują warstwy szczawnicze zbudowane z cienkoławicowych piaskowców przedzielonych łupkami ilastymi. W ich górnej części wyróżniono ogniwo piaskowców życzanowskich. Nad utworami formacji szczawniczej wydzielono łupki pstre, na nich zalegają warstwy z Zarzecza wykształcone jako cienkoławicowy lub średnioławicowy flisz, w którego górnej części wyróżniono gruboławicowe piaskowce krynickie. Grubo- i bardzo gruboławicowe piaskowce rozdzielone poziomem łupków pstrych zostały wydzielone jako formacja magurska. Formacja ta jest przestrzennie dominująca oraz trójdzielna. Dolny kompleks stanowią piaskowce z Piwnicznej, natomiast górny kompleks został wydzielony jako ogniwo pia-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozażożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; mzaj@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Mapa obszarów górniczych wód leczniczych oraz występowania osuwisk (Golonka, Rączkowski, 1983; Chrzastkowski i in., 1991; Węclawik, Wójcik, 1995; Boratyn i in., 2012; Oszczytko, Oszczytko-Clowes, 2012; Rycio i in., 2012)

Fig. 1. Map of mining areas therapeutic waters and landslides (Golonka, Rączkowski, 1983; Chrzastkowski et al., 1991; Węclawik, Wójcik, 1995; Boratyn et al., 2012; Oszczytko, Oszczytko-Clowes, 2012; Rycio et al., 2012)

skowca popradzkiego. Oba te kompleksy są rozdzielone nieciągłym poziomem ogniwa łupków z Mniszka (Chrzastkowski i in., 1991; Węclawik, Wójcik, 1995; Margielewski, 1998; Oszczytko i in., 1999; Rajchel, 2013).

Profil litostratygraficzny strefy bystrzyckiej rozpoczynają łupki pstre z Łabowej. Powyżej występują warstwy beloweskie wykształcone jako cienkoławicowe piaskowce przedzielone pakietami łupków. Na warstwach belowe-

skich zalegają średnio- i gruboławicowe piaskowce warstw łączkich. Nad utworami warstw łączkich wydzielono łupki pstre, na których zalegają utwory formacji magurskiej. Formacja magurska, podobnie jak w strefie krynickiej, jest trójdzielna. Dolny kompleks stanowią gruboławicowe piaskowce z wkładkami margli łączkich wydzielone jako ogniwo z Maszkowic, natomiast górny – to gruboławicowe piaskowce wydzielone jako piaskowce popradzkie. Kom-

pleksy te są rozdzielone ogniwem łupków z Mniszka (Chrząstowski i in., 1991; Węclawik, Wójcik, 1995; Oszczytko i in., 1999).

Osady czwartorzędowe są reprezentowane przez utwory aluwialne i stokowe. W dolinach cieków występują osady plejstocenyjskich tarasów erozyjno-akumulacyjnych oraz holocenyjskich tarasów akumulacyjnych w postaci żwirów, piasków i glin, natomiast na stokach pokrywy zwietrzelinowe ilasto-piaszczyste z rumoszem skalnym, pokrywy soliflukcyjno-deluwialne oraz pokrywy koluwalne (Chrząstowski i in., 1993; Alexandrowicz, Alexandrowicz, 1998).

Utwory fliszowe są porożcinane uskokami, sięgającymi głębokiego podłoża łańcucha Karpat, wzdłuż których miejscami występują osuwiska (Świdziński, 1965; Ciężkowski, 2002; Rajchel, 2002). Strefy nieciągłości były często odnawiane w wyniku ruchów górotwórczych, a aktualnie są główną drogą migracji dla gazowego dwutlenku węgla (Rajchel, 2013). Charakterystyczne jest, że z nieciągłościami takimi bardzo często jest związana aktywność sejsmiczna obserwowana również na badanym obszarze (Ciężkowski, 2002), która może doprowadzić do aktywacji ruchów masowych (Rączkowski, 2007). Według Ciężkowskiego (2002) pojawianie się CO₂, jak również źródeł wód mineralnych w Karpatach jest powiązane z strefami uskoków lub drobniejszych spękań z nimi związanych, często występujących w jądrowych częściach antyklin (Szczawnika, Złockiego, Jastrzębika, Muszyny, Powroźnika–Wojkowej). Jądrowe części antyklin mają również zwiększoną podatność na zsuwy w porównaniu z osiowymi strefami synklin (Bober, 1984). Synklinalne ułożenie warstw może mieć również wpływ na powstawanie osuwisk, szczególnie przez powstające poziome wodonośne pomiędzy piaskowcami a niżej zalegającymi warstwami łupków (Wójcik, 1997).

WODY LECZNICZE DOLINY POPRADU

Obszar województwa małopolskiego jest największym zagłębieniem różnorodnych wód mineralnych w Polsce, natomiast sam rejon doliny Popradu charakteryzuje się występowaniem wód mineralnych typu szczaw i jest określany mianem „popradzkiego zagłębienia balneologicznego” (Ostrowicka, 1966). Szczawy zwykłe (proste) płytkiego krążenia to wody infiltracyjne, nasycone wolnym dwutlenkiem węgla w ilości powyżej 1000 mg w litrze wody. Powstają w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych wzdłuż sieci szczelin ku obszarom morfologicznie niżej położonym. W strefach gdzie występuje dopływ CO₂ wody nasycają się gazem wędrującym z głębi Ziemi. Formują się w skomplikowanych warunkach gazowo-wodnych, których równowaga jest bardzo nietrwała, gdyż za utrzymanie odpowiedniego ciśnienia CO₂ odpowiadają wierzchnie warstwy zwietrzelinowych utworów czwartorzędowych (Czop i in., 2011; Rajchel, 2012).

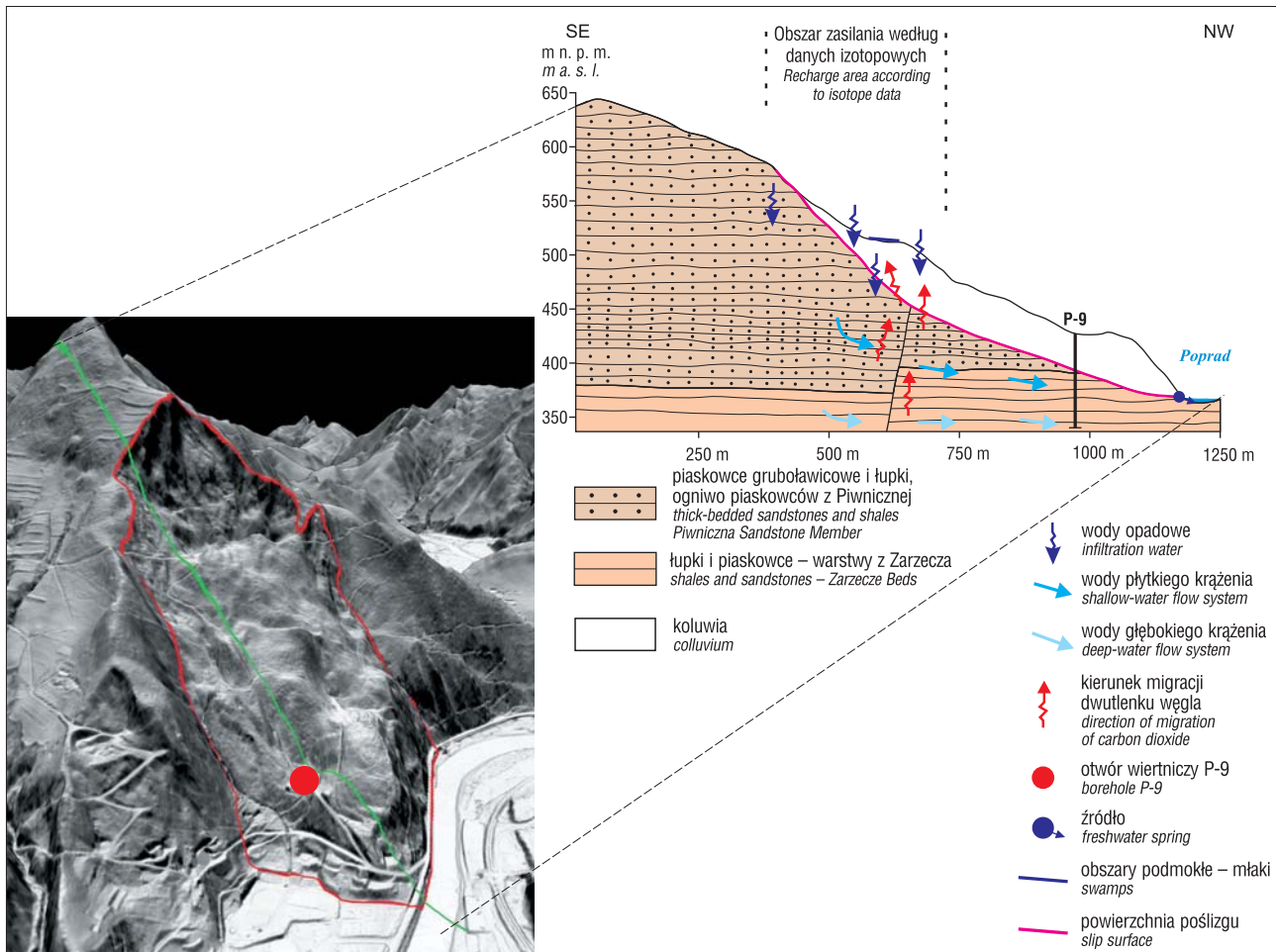
Wody podziemne są związane z mocno zwietrzałą i spękaną strefą przypowierzchniową fliszu, składającą się z odmiennych litologicznie skał różnego wieku, których zasilanie odbywa się poprzez infiltrację opadów atmosferycznych (Chowaniec, 2015), będących głównym czynnikiem uaktywniającym osuwiska w Polsce, jak również zasilającym ujęcia i źródła szczaw (Zabuski i in., 1999; Duliński i in., 2015). Największą przepuszczalnością cha-

rakteryzują się płytkie strefy przypowierzchniowe piaskowców formacji magurskiej o miąższości od 30 do 40 m, gdyż do tej głębokości w utworach tych występują najsilniejsze spękania pochodzenia tektonicznego lub spowodowane odprężeniem masywu skalnego na skutek erozji (Oszczytko i in., 1981). Na podstawie badań przeprowadzonych w rejonie Muszyny wiadomo, że najlepszą wodonośnością charakteryzują się warstwy z Zarzecza, natomiast wysoką – warstwy ze Szczawnicy oraz piaskowce z Piwnicznej (Józefko i in., 2013). Wzrost wodochłonności masywów skalnych powoduje nagłe zmiany obciążeń grawitacyjnych poszczególnych segmentów masywu, wywołanych wodą opadową oraz oddziaływaniem ciśnienia hydrodynamicznego związanego z jej krążeniem w masywach, sprzyjając tym samym ich dezintegracji grawitacyjnej (Margielewski, 2001).

PRZYKŁAD HISTORYCZNEGO ZAGROŻENIA UJĘCIA WÓD PRZEZ RUCHY MASOWE – OSUWISKO NA GÓRZE KICARZ (PIWNICZNA–ŁOMNICA)

Jednym z nielicznych zdarzeń osuwiskowych mających wpływ na złożę wód leczniczych opisanych w literaturze jest uaktywnienie osuwiska na górze Kicarz. W ujęciu P-9 zlokalizowanym w obrębie osuwiska na tej górze dostrzeżono zmiany parametrów jakościowych wód leczniczych, które powiązane z uaktywnieniem ruchów masowych (Czop i in., 2011). Osuwisko to jest starą formą powstałą w wilgotnej fazie holocenu, która uległa odmłodzeniu ok. 150–200 lat temu (ryc. 2). Przyczyną jego powstania było podcięcie stoku góry Kicarz przez rzekę Poprad (Pulinowa, 1972). Górna część osuwiska powstała w utworach ogniwa z Piwnicznej, natomiast dolna rozwinęła się w utworach warstw z Zarzecza. Ruch mas skalnych miał prawdopodobnie przebieg wieloetapowy, o charakterze zsuwu, doprowadzając do zatamowania Popradu, wskutek czego utworzyło się jezioro zaporowe (Margielewski, 1996). W wyniku prowadzonych w 2010 r. prac ziemnych pod budowę stoku narciarskiego na zboczach góry Kicarz doszło do uaktywnienia osuwiska, po którym zaobserwowano spadek zawartości wolnego CO₂ oraz demineralizację wód w ujęciu P-9 (Czop i in., 2011). Uaktywnienie osuwiska zaburzyło układ już naruszonych warstw, co mogło przyczynić się do zmian dotychczasowych dróg migracji gazowego dwutlenku węgla z głębszego podłoża, czego przypuszczalnym skutkiem jest obserwacja spadku zawartości CO₂, jak również zmian warunków zasilania w strefie występowania wód mineralnych. Odwodnienie osuwiska odbywa się poprzez rozległe liniowe źródła, przy czym dostrzec można zwiększoną ilość źródeł w pobliżu podstawy czoła osuwiska, rzadziej w niszy.

Na badanym obszarze niekorzystne zmiany związane z dopływem wód słodkich pozbawionych CO₂ lub uruchomieniem nowych dróg migracji CO₂ są obserwowane, oprócz ujęcia P-9, także w kilku innych ujęciach: P-1, P-5, P-6, P-8, P-14 (Duliński i in., 2015). Strefy zasilania wyznaczone przez Porwisza i in. (2011) dla ujęć wód leczniczych na obszarze górniczym Piwniczna–Łomnica w południowej części, znajdują się na stokach w dużym stopniu przekształconych przez ruchy masowe, na których występują również uskoki mogące być potencjalną drogą migracji gazowego CO₂ (ryc. 3).



Ryc. 2. Rzeźba osuwiskowa oraz przekrój geologiczny przez osuwisko na stokach góry Kiczar
 Fig. 2. Relief of the landslide and a geological cross-section through the landslide on Mt. Kiczar slope

ZAGROŻENIA OSUWISKOWE DLA ŻŁÓŻ W DOLINIE POPRADU

Analiza rozmieszczenia i stopnia aktywności osuwisk zinwentaryzowanych w ramach *Map osuwisk i terenów zagrożonych w skali 1 : 10 000* (MOTZ; Boratyn i in., 2012; Oszczypko, Oszczypko-Clowes, 2012; Rycio i in., 2012) pozwoliła na ocenę zagrożeń osuwiskowych w obrębie pozostałych obszarów górniczych, utworzonych dla źródeł wód mineralnych w dolinie Popradu.

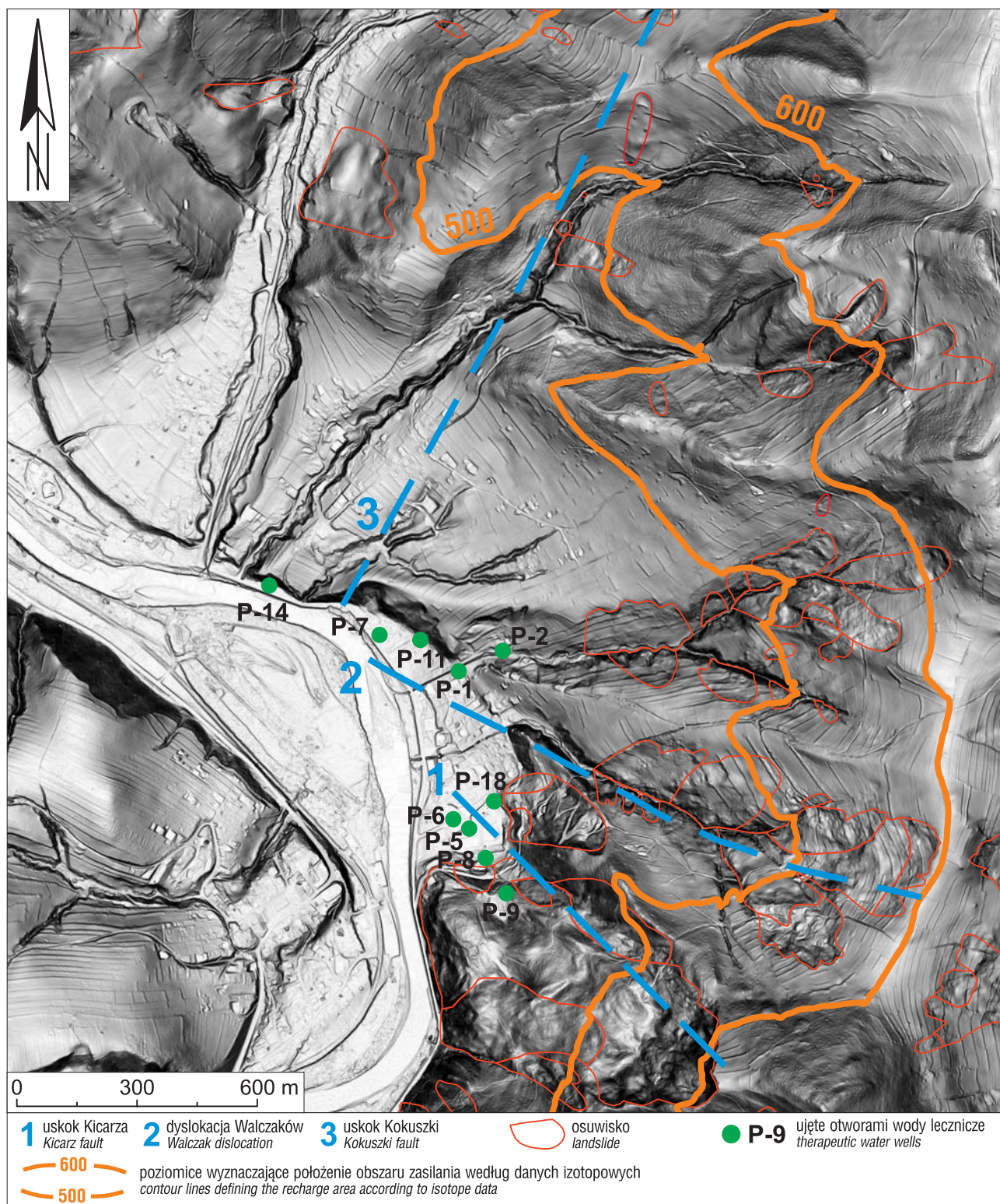
Największa liczba osuwisk występuje w obrębie obszarów: Wierchomla-Zdrój – 172, Krynica-Zdrój I – 159, Piwniczna-Łomnica – 158, oraz Muszynianka III – 130, natomiast największe wskaźniki osuwiskowości powierzchniowej można zaobserwować na obszarach górniczych: Muszyna-Zdrój – 31%, Wierchomla-Zdrój – 29%, Wapienne Inex – 29% (tab. 1). Wysoka wartość wskaźnika osuwiskowości powierzchniowej obszaru Żegiestów-Cechini, wynosząca 36%, jest związana z jego niewielkim obszarem, który po odliczeniu dolin rzecznych uległ pięciokrotnemu zmniejszeniu. Obszary górnicze w dolinie Popradu charakteryzują się zazwyczaj większymi (czasem nawet dwukrotnie) wskaźnikami osuwiskowości powierzchniowej w stosunku do gmin, na terenie których zostały wyznaczone.

Istotnym czynnikiem podnoszącym zagrożenie i ryzyko osuwiskowe jest stopień aktywności osuwisk. Najwięk-

szą ilość aktywnych osuwisk została zarejestrowana na obszarach Wierchomla-Zdrój, Piwniczna-Łomnica oraz Krynica-Zdrój I, które stanowią dla dwóch pierwszych obszarów ok. 25% wszystkich osuwisk, a dla obszaru Krynica-Zdrój 16%.

Doświadczenia z Krynicy wskazują, że niewielkie prace budowlane w pobliżu bezpośrednich stref zasilania źródeł powodowały występowanie minimalnych stężeń CO_2 , co świadczy, iż nawet stosunkowo płytkie ruchy osuwiskowe mogą zaburzyć utrzymanie odpowiedniego ciśnienia CO_2 i doprowadzić do odgazowania złoża.

Wśród przeanalizowanych osuwisk na szczególną uwagę zasługują osuwiska wokół Góry Parkowej, w obrębie obszaru górniczego Krynica-Zdrój I (ryc. 4). Największe osuwisko jest zlokalizowane na zachodnim stoku wzniesienia, schodzącym w kierunku doliny Krynicy. Forma ta jest przykładem osuwiska wieloetapowego, gdzie rzeźba kształtowała się w wyniku kilkakrotnie powtarzających się uaktywnień ruchów masowych. Pierwszy etap ruchów wystąpił na początku holocenu (Alexandrowicz, Alexandrowicz, 1998). Rzeźba osuwiska jest bardzo urozmaicona, a charakterystyczne dla niej skarpy wtórne przecinają elementy rzeźby związane z wcześniejszymi etapami rozwoju osuwiska. W południowo-zachodniej części osuwiska przebiega strefa nasunięcia podjednostki krynickiej na sądecką. Strefa krynicka występuje w dolinie Krynicy oraz niewielkiej południowo-zachodniej części osuwiska



Ryc. 3. Osuwiska oraz strefy zasilania na obszarze górniczym Piwniczna–Łomnica (Porwisz i in., 2011; Boratyn i in., 2012)
Fig. 3. Landslides and recharge area in the mining area Piwniczna–Łomnica (Porwisz et al., 2011; Boratyn et al., 2012)

i jest reprezentowana przez utwory warstw z Zarzecza, natomiast cały maszyn Góry Parkowej jest zbudowany z utworów strefy sądeckiej (ogniwo piaskowców z Maszkowic oraz ogniwo łupków z Mniszka, należące do formacji magurskiej). W obrębie osuwiska nie wykonano żadnych ujęć eksploatacyjnych, natomiast przed jego czołem zlokalizowane są ujęcia *Mieczysław*, *Zdrój Główny*, *Zuber I* oraz *Zuber II*. Na podstawie badań izotopowych wykona-

nych przez Zuberę i in. (1999) zostały określone strefy zasilania dla ujęć *Stoneczne 1*, *Stoneczne 2* oraz częściowo dla ujęcia *Zdrój Główny*. Strefy te obejmują południową część osuwiska.

W północnej części Góry Parkowej są zlokalizowane dwa mniejsze osuwiska schodzące w kierunku doliny potoku Palenica, na obszarze których wykonano dwa ujęcia eksploatacyjne *Jan 13A* oraz *Krynica Uzdrawisko 18*.

Tab. 1. Wskaźniki osuwiskowości powierzchniowej oraz gęstości osuwisk poszczególnych obszarów górniczych
Table 1. Landslide surface index and landslide density index individual mining area

	Nazwa obszaru górniczego <i>Name of the mining area</i>	Liczba osuwisk <i>Number of landslides</i>	Powierzchnia obszaru górniczego (bez dolin rzecznych) [km ²] <i>Area of the mining area (without river valleys) [km²]</i>	Powierzchnia osuwisk [km ²] <i>Area of landslides [km²]</i>	Wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej – OP [%] <i>Landslide surface index [%]</i>	Gęstość osuwisk – G [osuwiska/km ²] <i>Landslide density index [landslides per km²]</i>
1	Piwniczna–Łomnica	158	22,42	5,27	23,50 (22,43)***	7,05
2	Zubrzyk	6	3,22	0,05	1,55 (22,43)***	1,87
3	Żegiestów Inex	54	13,57	2,05	15,11 (17,76)**	3,98
4	Żegiestów–Zdrój Główny	5	2,05	0,23	11,22 (17,76)**	2,44
5	Żegiestów–Cechini	4	0,22	0,08	36,13 (17,76)**	18,06
6	Muszynianka III	130	31,66	4,70	14,84 (17,76)**	4,11
7	Wapienne Inex	45	9,40	2,73	29,03 (17,76)**	4,79
8	Galicjanka III – Pole-1 Pole-2	33	8,36	1,68	20,09 (17,76)**	3,95
9	Szczawnik–Cechini	48	9,43	2,13	22,60 (17,76)**	5,09
10	Muszyna-Zdrój	53	11,51	3,52	30,57 (17,76)**	4,60
11	Galicjanka III Pole-1 Pole-2 Pole-1	41	7,69	2,20	28,60 (17,76)**	5,33
12	Krynica-Zdrój I	159	32,55	3,87	11,89 (5,50)*	4,88
13	Szczawiczne II	28	3,43	0,42	12,26 (5,50)*	8,17
14	Tylicz I	83	28,68	1,65	5,75 (5,50)*	2,89
15	Muszyna Inex	9	1,53	1,76	26,18 (17,76)**	5,89
16	Wierchomla-Zdrój	172	37,75	11,02	29,19 (22,43)***	4,56
Średni wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej <i>Average landslide surface index</i>			dla obszarów górniczych <i>for mining areas</i>		19,96%	
			dla terenu gmin <i>for gmina areas</i>		15,23%	

Wskaźniki osuwiskowości powierzchniowej gmin: Krynica-Zdrój*, Muszyna**, Piwniczna-Zdrój***
Landslide surface index for the gminas of: Krynica-Zdrój, Muszyna**, Piwniczna-Zdrój****

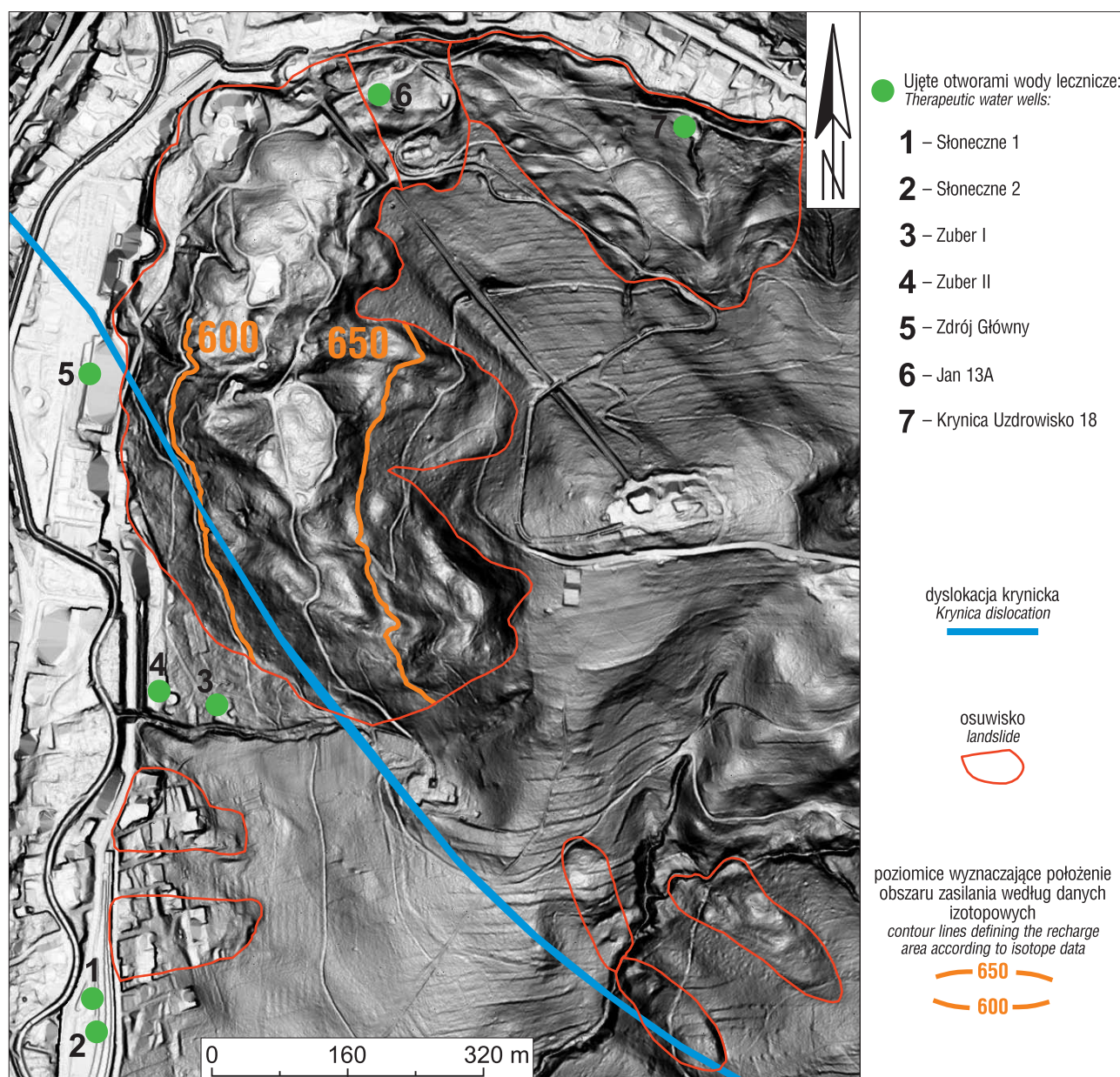
PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W celu zwiększenia atrakcyjności turystycznej rejonu doliny Popradu zauważalny jest trend coraz częstszego zagospodarowywania stoków osuwiskowych. Aktywny wpływ działalności człowieka przy współdziałaniu zdarzeń klimatyczno-hydrologicznych doprowadza do coraz częstszej aktywacji procesów osuwiskowych, które zagrażają infrastrukturze zakładów górniczych, jak również złożom oraz ich strefom zasilania.

Ruchy masowe prowadzą do zmian warunków zasilania w strefie występowania wód mineralnych, w tym otwarcia nowych dróg dopływu wód infiltracyjnych lub zamknięciu istniejących, a w przypadku doliny Popradu mogą również doprowadzić do zmian dróg migracji dwutlenku węgla. W przypadku występowania infrastruktury górniczej poważnemu uszkodzeniu lub nawet ścięciu mogą ulec zlokalizowane na powierzchni osuwisk odwierty eksploatacyj-

ne, zagrażając tym samym złożom wód leczniczych oraz wywołując w nich niekorzystne zmiany. Rejestracja zmian w ujęciach wód mineralnych, mogących być skutkami aktywności osuwisk, jest problemem wcześniej nie badanym. Przewidzenie określonych skutków ruchów oraz czasu, w jakim one zajdą, w tak skomplikowanym systemie jest trudne, a weryfikacja ich wpływu możliwa tylko na podstawie dokładnego monitoringu wód w ujęciach po zdarzeniu osuwiskowym. W przypadku obserwowanych aktualnie niekorzystnych zmian, polegających na dopływie wód infiltracyjnych pozbawionych CO₂ w ujęciu P-9, należałoby je wiązać z ruchami osuwiska ok. 70 do 130 lat wstecz. Według Porwisa i in. (2010) właśnie tyle wynosi średni wiek wody współczesnej z otworów na obszarze górniczym Piwniczna–Łomnica.

W przypadku zmian dróg migracji CO₂ ich skutki w ujęciu mogą być zaobserwowane znacznie szybciej, a uchwycenie zjawiska jest możliwe tylko poprzez monito-



Ryc. 4. Osuwiska oraz strefy zasilania na obszarze górniczym Krynica-Zdrój 1 (Porwisi i in., 2011; Rycio i in., 2012)
Fig. 4. Landslides and recharge area in the mining area Krynica-Zdrój 1 (Porwisi et al., 2011; Rycio et al., 2012)

ring wód w ujęciu. Potencjalne skutki niekorzystnych zmian w ujęciach spowodowane aktywnością osuwisk po tzw. katastrofie osuwiskowej w 2010 r., mogą ujawniać się już teraz.

Świadomość współwystępowania osuwisk oraz obszarów zasilania wód leczniczych lub stref dopływu gazowego dwutlenku węgla powinna skutkować ochroną nie tylko obszarów górniczych, ale i najbliższych osuwisk, które w wyniku niekontrolowanych działań ludzkich mogą ulec uaktywnieniu i stworzyć zagrożenie dla tworzenia wód mineralnych.

Biorąc pod uwagę wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej oraz stopień aktywności ruchów masowych, najbardziej zagrożonymi obszarami górniczymi w dolinie Popradu wydają się być Wierchomla-Zdrój, Piwniczna-Łomnica, Muszyna-Zdrój, Wapienne Inex oraz Krynica-Zdrój I. W przypadku tego ostatniego istotny wpływ na ryzyko osuwiskowe odgrywają osuwiska wokół Góry Parkowej.

Autor pragnie serdecznie podziękować anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi i wskazówki, które wpłynęły na ostateczną wersję artykułu.

LITERATURA

- ALEXANDROWICZ W., ALEXANDROWICZ Z. 1998 – Osuwisko na Górze Parkowej – osady, malakofauna i fazy rozwoju. *Kwart. AGH, Geologia*, 24 (4): 271–331.
- BARGIELEWICZ B. 1961 – Osuwisko we wsi Wapienne koło Muszyny. *Prz. Geol.*, 3: 148–150.
- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biul. Inst. Geol.*, 340: 115–153.
- BORATYN J., BĄK M., BOROŃ K., CABAŁA B., GÓRKA K., KASINA K., SOKALSKI J., WYDERSKI P. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Piwniczna-Zdrój, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. *Państw. Inst. Geol.*; <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>
- CHOWANIEC J., GAĞULSKI T., GOTCZYCA G., FREIWALD P., OPERACZ T. 2015 – Wody lecznicze Doliny Popradu – rejon Milika i Andrzejówki. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 465: 185–194.

- CHRZĄSTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A. 1991 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Muszyna (1052) i Leluchów (1062). Państw. Inst. Geol.
- CHRZĄSTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A. 1993 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Muszyna (1052). Państw. Inst. Geol.
- CIĘŻKOWSKI W. (red.) 2002 – Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. Poradnik metodyczny. Wroc. Tow. Nauk., Wrocław.
- CZOP M., MOTYKA J., RAJCHEL L. 2011 – Współczesne zagrożenia wód mineralnych i leczniczych doliny Popradu (Karpaty, Południowa Polska). Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 67–74.
- DULIŃSKI M., RAJCHEL L., FELTER A. 2015 – Zmienność parametrów izotopowych i chemicznych w wybranych wodach mineralnych Piwnicznej-Zdroju. Prz. Geol. 63 (10/1): 700–704.
- GOLONKA J., RĄCZKOWSKI W. 1983 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Piwniczna (1051). Państw. Inst. Geol.
- JÓZEFKO I., OSZCZYPKO N., KUKUŁA M. 2013 – Ocena wodonośności utworów fliszowych w rejonie Muszyny na podstawie badań źródeł. Biul. Państw. Inst. Geol., 456: 501–506.
- MARGIELEWSKI W. 1996 – Jeziorka osuwiskowe Pasma Jaworzyny Krynickiej. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich, 40: 15–31.
- MARGIELEWSKI W. 1998 – Rozwój form osuwiskowych w Baranowcu (Beskid Sądecki, Karpaty zewnętrzne), w świetle analizy strukturalnych uwarunkowań osuwisk w Karpatach fliszowych. Prz. Geol., 46 (5): 436–450.
- MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje dla Karpat fliszowych. Prz. Geol., 49 (6): 515–525.
- OSTROWICKA H. 1966 – Z historii użytkowania wód mineralnych w okolicach Piwnicznej-Zdroju. Prz. Geol., 13 (11): 461–463.
- OSZCZYPKO N., CHOWANIEC J., KONCEWICZ A. 1981 – Wodonośność piaskowców magurskich w świetle badań wodochłonności. Roczn. Pol. Tow. Geol., 51: 273–303.
- OSZCZYPKO N., MALATA E., OSZCZYPKO-CLOWES M., DUŃCZYK L. 1999 – Budowa geologiczna Krynicy (płaszczowina magurska). Prz. Geol., 47 (6): 549–559.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Muszyna, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol., <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W. 2003 – Osuwiska Karpat. Prz. Geol., 51 (8): 685–692.
- PORWISZ B., RADWAN J., CHOWANIEC J., ZUBER A. 2011 – Wody podziemne Piwnicznej-Zdroju, ich wiek i obszary zasilania, według danych izotopowych. Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 485–494.
- PULINOWA M. 1972 – Procesy osuwiskowe w środowisku sztucznym i naturalnym. Dok. Geograf. Inst. Geogr. PAN Warszawa.
- RAJCHEL L. 2012 – Szczawy i wody kwasowęglowe Karpat polskich: 194. Wyd. AGH, Kraków.
- RAJCHEL L. 2013 – Występowanie, chemizm oraz geneza szczaw i wód kwasowęglowych Karpat Polskich. Biul. Państw. Inst. Geol., 456: 501–506.
- RĄCZKOWSKI W. 2007 – Landslide hazard in the Polish flysch Carpathians. Stud. Geomorph. Carpath.-Balcan., 41: 61–76.
- RYCIO E., KARWACKI K., CYBULSKA D. 2012 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Krynica-Zdrój, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Państw. Inst. Geol.; <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO>
- STARKEL L. 1972 – Karpaty Zewnętrzne. [W:] Geomorfologia Polski, T. 1, 52–115.
- ŚLIWA P., WILK Z. 1954 – Osuwisko w Bańskiej Wyżnej na Podhalu. Biul. Inst. Geol., 86: 117–130.
- ŚWIDZIŃSKI H. 1965 – Naturalne ekshalacje dwutlenku węgla w Karpatach Polskich. Rocznik PTG, 35 (4).
- WĘCŁAWIK S., WÓJCIK A. 1995 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Tylicz (1053). Państw. Inst. Geol.
- WÓJCIK A. 1997 – Osuwiska w dorzeczu Koszarawy – strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania (Karpaty Zachodnie, Beskid Żywiecki). Biul. Inst. Geol., 376: 5–42.
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2021 r. poz. 1420, z późn. zm.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L. 1999 – Osuwiska we fliszu Karpat Polskich: Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. Wyd. IBW PAN, Gdańsk: 171.
- ZUBER A., CIĘŻKOWSKI W., GRABCZAK J., DULIŃSKI M. 1999 – Wieki i położenie obszarów zasilania wód mineralnych Krynicy oszacowane ze zmian czasowych stężeń trytu oraz wartości ¹⁸O i D. Prz. Geol., 47 (6): 574–583.

Praca wpłynęła do redakcji 28.06.2022 r.

Akceptowano do druku 12.09.2022 r.