

Górnictwo w Arktyce, problemy środowiskowe i ekologiczne na przykładzie N Skandynawii (Kvalsund, Norwegia, Monchegorsk, Rosja)

Miłosz Huber¹, David Alenga², Daniel Kamiński³, Urszula Maciołek³, Olga Iakovleva⁴



M. Huber



D. Alenga



D. Kamiński



U. Maciołek



O. Iakovleva

Mining in the Arctic, environmental and ecological problems N Scandinavia as an example (Kvalsund, Norway, Monchegorsk, Russia). Prz. Geol., 71: 279–285; doi: 10.7306/2023.25

Abstract. The Arctic region is a prospective area for ore mining and urbanization progress. The areas of Europe located beyond the Arctic Circle have unique features of the natural environment. Conducting mining works in this place is associated with certain difficulties resulting from weather conditions (numerous rains, long winters, polar night) and due to the high risk of permanent environmental pollution. An example of the specificity of arctic mining is Kvalsund in northern Norway, where there is a copper mine that is currently under development. Another example is the Monchegorsk region in Russia, which is currently no longer mining. Both of these places are associated with sulphide deposits of non-ferrous metals and the resulting consequences. The purpose of this text was to show the differences and similarities of these mining plants, and on this basis to demonstrate the complexity of the issues of exploitation and reclamation of mining areas in the Arctic.

Keywords: Mining, Arctic, environment, pollution, Kvalsund, Monchegorsk

Europejskie obszary arktyczne, do których zalicza się zarówno Islandię i Grenlandię, północną Norwegię, jak i północno-zachodnią część Rosji, to w zasadzie obszar całej Arktyki, są one zlokalizowane za Kołem Podbiegunowym. Wobec zachodzących zmian klimatycznych, demograficznych oraz urbanizacyjnych znaczenie tego regionu będzie w najbliższej przyszłości rosło. Z uwagi na położenie tego obszaru są tam planowane duże inwestycje infrastrukturalne, m.in. umożliwiające obsługę statków towarowych. Odkrywane i zagospodarowywane są tam liczne złoża surowców strategicznych. Przyczynia się to do zmian demograficznych, spodziewane jest zwiększenie się liczby mieszkańców w tym obszarze. Wszystkie te działania wpływają na środowisko naturalne tego obszaru. Jednym z czynników najbardziej oddziałujących na środowisko jest działalność górnicza. Znane są obszary, na których była ona prowadzona w ostatnich latach XX w., a skutki tych prac są widoczne do dzisiaj.

Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na potencjalny wpływ na środowisko działalności górniczej na przykładzie projektu kopalni *Kvalsund* (w oknie tekto-

nicznym Alta–Kvanangen), której eksploatacja jest w fazie rozbudowy, oraz regionu Monchegorsk (w obrębie intruzji moncheplutonu), gdzie eksploatacja została zakończona. Obie kopalnie są związane z zagospodarowaniem rud siarczokowych metali kolorowych. Zarówno planowanie eksploatacji, jak i rekultywacja terenów pogórnicznych w rejonie Arktyki mają istotny wpływ na środowisko naturalne. Na rycinie 1 zostały przedstawione obszary stanowiące przedmiot badań. Oba te tereny znajdują się w arktycznej części Europy i stanowią istotny przykład rozwoju gospodarki surowcami naturalnymi oraz jej wpływu na środowisko.

GEOLOGIA TERENU BADAŃ

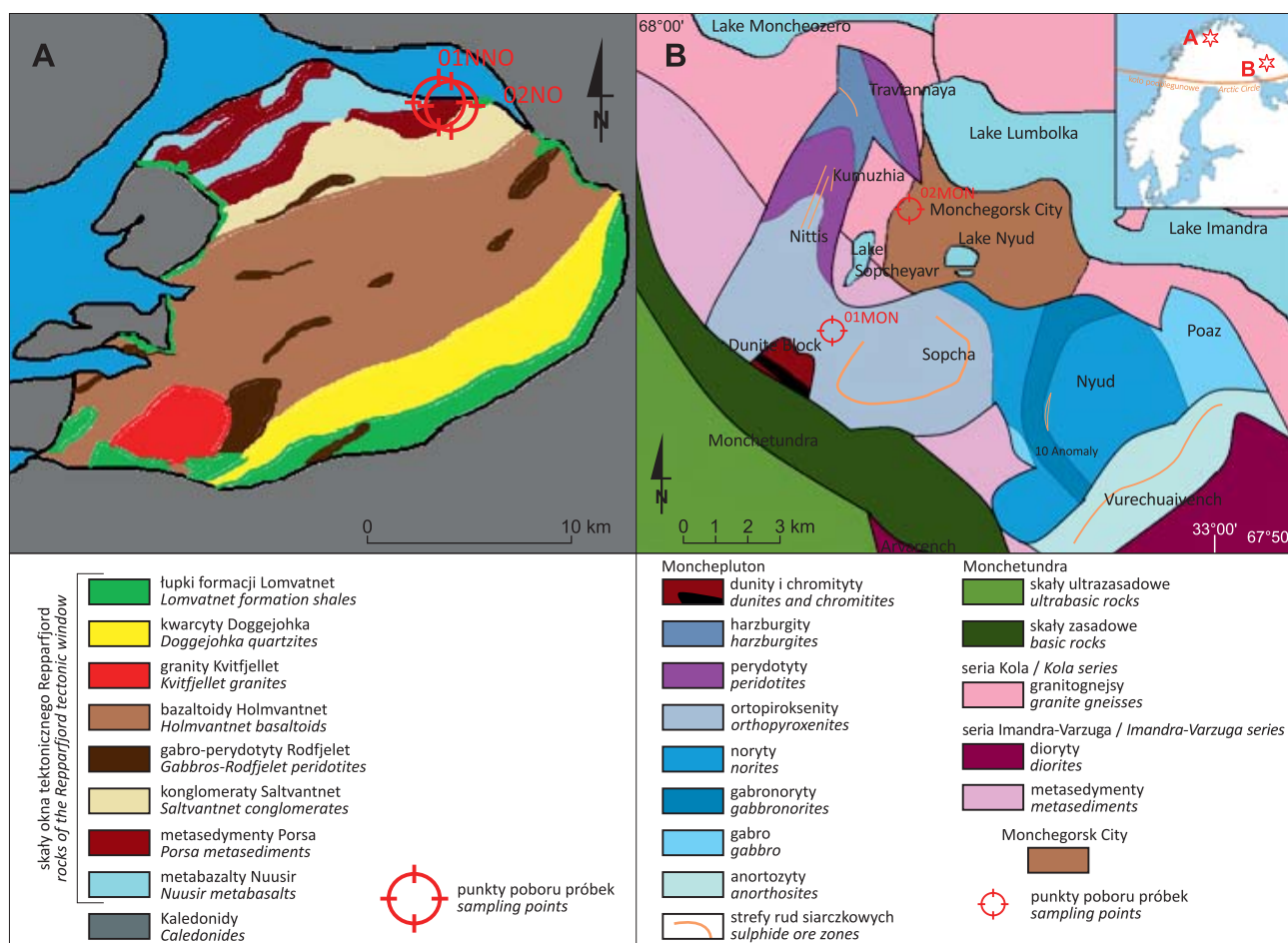
W północnej części Półwyspu Skandynawskiego odślaniają się skały, które budują cokół krystaliczny tarczy bałtyckiej (Amielin, Semenov, 1996; Bozhko, 2009, 2010). Występują tam skały archaiczne i proterozoiczne tworzące masywy. Na zachodzie znajdują się Góry Skandynawskie, o wieku kaledońskim z licznymi oknami tektonicznymi, w których znajdują się archaiczne i proterozoiczne skały

¹ Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, al. Kraśnicka 2d, 20-715 Lublin; miłosz.huber@mail.umcs.pl; ORCID ID: 0000-0001-7583-6230

² Instytut Turyzmu i Studiów Północnych, Norweski Uniwersytet Arktyczny, 39 Follumsvei St., 95100 Alta, Norwegia; david.alenga@uit.no; ORCID: 0000-0002-9751-191X

³ Wydział Chemii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, plac Marii Curie-Skłodowskiej, 2/508, 20-031 Lublin; daniel.kaminski@mail.umcs.pl; urszula.maciolek@mail.umcs.pl; ORCID ID: Daniel Kamiński – 0000-0002-8593-611X, Urszula Maciołek – 0000-0001-7720-6849

⁴ Instytut Językoznawstwa i Literaturoznawstwa, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, plac Marii Curie Skłodowskiej 4a, 20-031 Lublin; olga.iakovleva@mail.umcs.pl; ORCID ID: 0000-0001-5124-6412



Ryc. 1. Uproszczone geologiczne szkice terenu badań: **A** – rejon Kvalsund (na podst. Torgersena i in., 2016), **B** – Monchepluton (na podst. Hubera i in., 2022)

Fig. 1. Simplified sketch of the study area: **A** – Kvalsund area (based on Torgersen et al., 2016), **B** – Monchepluton (based on Huber et al., 2022)

(Moen, 2014; Torgersen i in., 2016). Omawiany teren znajduje się w zachodniej części Skandynawii (okno tektoniczne Repparfjord) oraz na wschodzie w rejonie Półwyspu Kolskiego (masyw moncheplutonu).

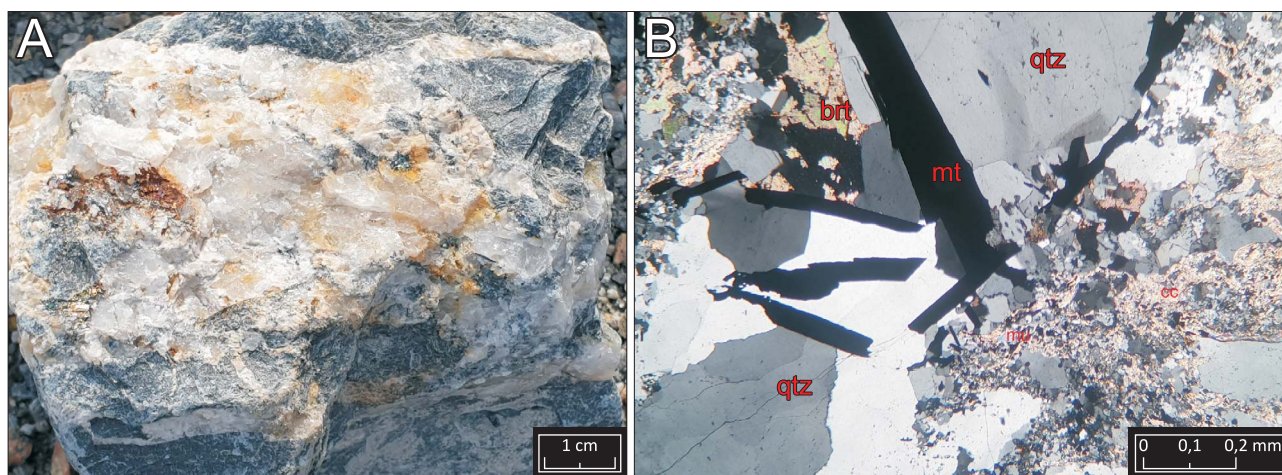
Kvalsund

Rejon Kvalsund należy do okna tektonicznego Repparfjord, gdzie odsłania się sekwencja skał metasedymentów. Wiek tych utworów jest określany na 2073 Ma (Sandstad, 2008; Moen, 2014; Torgersen i in., 2016). Tworzą one grupę skał o miąższości ok. 8 km, powstałą w aulakogenie z udziałem formacji ekstruzywno-lawowych. Została ona zdeformowana oraz zmetamorfizowana w facji zieleńcowej. W skałach tych odnotowuje się mineralizację siarczkową, głównie miedzi i żelaza. W rejonie Kvalsund odsłaniają się skały należące do warstw grupy Saltvatnet. Reprezentowane są one przez piaskowce oraz konglomeraty zawierające ziarna kwarcowe z domieszką węglanów i siarczków. Kryształy kwarcu są zróżnicowane wielkością, tworząc soczewkowate warstwowanie w omawianych skałach. Są one mocno ściśnięte ze sobą, często o wklęsło-wypukłym kontakcie. Kryształy te w świetle spolaryzowanym ściemniają faliście. Obok kwarcu w omawianych skałach widoczne są także ziarna kalcytu, który występuje w przestrzeniach pomiędzy kwarcem, niekiedy tworząc przewarstwienia, w których dominuje. W niektó-

rych próbkach skał widoczne są także drobne ziarna mikroklinu oraz plagioklazów, stanowiące ok. 5% domieszki. Pomiędzy nimi znajdują się niewielkie ilości pojedynczych blaszek muskowitu oraz agregaty schlorytyzowanego biotyty. Można także dostrzec drobne agregaty grafitu. Niekiedy w skale występują drobne laminy muskowitowo-chlorytowo-epidotowe. Mineralom tym towarzyszy hematyt (ryc. 2). Na tym tle można dostrzec także żyły kwarcowe zbudowane z palisadowo wykształconych minerałów oraz mineralizacją rudną. Mineralizacja ta uwidacznia się zarówno w formie rozproszonej na tle omawianych minerałów autigenicznych i metamorficznych, jak i w sąsiedztwie utworów żyłowych, gdzie spotykane są dużo większe kryształy faz rudnych. Towarzyszą im także drobne kryształy barytu i fluorytu. Minerale rudne są reprezentowane przez chalkopiryt, pirit, magnetyt z domieszką tytanomagnetytu.

Monchegorsk

W rejonie Monchegorska znajduje się paleoproterozoiczna intruzja warstwowana wieku 2,4 Ga (Bozhko, 2009, 2010; Kunakkuzin i in., 2014, 2020; Bayanova i in., 2019; Huber i in., 2021). Jest to intruzja zbudowana ze skał ultrazasadowych (harzburgity, ortopiroksenity) oraz zasadowych (noryty, gabro-noryty, metaanortozyty). Skały tej intruzji tworzą rytmiczne przewarstwienia oraz strefy



Ryc. 2. Makrofotografia (A) i mikrofotografia (B) skał okruchowych z Kvalsund z widoczną mineralizacją siarczkową, ziarnami kwarcu, węglanów, barytu oraz minerałów rudnych. Objasnienia skrótów: brt – baryt, cc – kalcyt, mt – manetyt, mu – muskowitz, qtz – kwarc
Fig. 2. Macrophotograph (A) and microphotograph (B) of Kvalsund clastic rocks with visible sulphide mineralization, grains of quartz, carbonates, barite and ore minerals. Explanations of abbreviations: brt – barite, cc – calcite, mt – manethite, mu – muscovite, qtz – quartz

wtórnej iniekcji o charakterze krytycznych horyzontów z widocznymi: autobrekcją, mylonityzacją oraz występowaniem ksenolitów skał suprakrystalnych. Towarzyszy im mineralizacja tlenkowa (Fe-Ti-Cr), siarczkowa (Cu-Ni-Fe) oraz platynonośna (Pt-Pd-Te-Bi) (Amielin, Semenov, 1996; Pozhyliencko i in., 2002; Huber, 2021). Minerale rudne reprezentowane przez siarczki występują w formie rozproszonej, gniazdowej oraz żyłowej. W wyniku różnorodnych procesów tektonicznych kształt intruzji jest mocno zdeformowany, przypomina on obecnie dwa ramiona zorientowane w kierunku południkowym (masywy Traviannaya, Kumuzhia, Nittis, Dunitowy Blok – zwanych dalej NKT – akronim pochodzi od pierwszych liter masywów) oraz równoleżnikowym (Sopcha, Nyud, Poaz, Vurechuaivench – zwanych dalej SNP, j.w.). Masyw ten na skutek oddziaływania jednostek sąsiednich uległ także procesom metasomatycznym (szczególnie od zachodniej strony NKT), a także metamorficznym (od strony południowo-wschodniej w rejonie SNP). Istotnymi z punktu widzenia geologii gospodarczej są harzburgity, chromityty, ortopiroksenity, noryty oraz masywne rudy siarczkowe. W tych skałach dostrzega się szczególnie intensywną mineralizację rudną.

Harzburgity to skały o strukturze grubokrystalicznej, teksturze symplektytowej, diablastycznej. W obrazie mikroskopowym są widoczne ziarna oliwinów, które są otoczone obwódką korozyjną zbudowaną z antygorytu, talku oraz flogopitu. Obok występują duże kryształy ortopiroksenu reprezentowanego przez bronzyt (ryc. 3A). Na tle piroksenu widoczne są przerosty klinopiroksenu oraz talku. W przestrzeniach pomiędzy tymi minerałami znajdują się kryształy siarczków tworzących rozproszoną mineralizację. Są one reprezentowane przez pirotyn, któremu towarzyszą kryształy pentlandytu i chalkopiryty. W skale dostrzegalne są liczne procesy metasomatyczne i hydrotermalne. Podkreślone są one przez fazy stanowiące charakter wtórny względem obserwowanych minerałów, zmiany chemizmu tych kryształów (zonalność chromitu, drobne lamelki tlenków żelaza w piroksenach), obecność niewielkiej ilości kryształów plagioklastu oraz licznych faz minerałów rudnych występujących w formie domieszek, takich jak: galena, sfaleryt i cynkit. Harzburgity budują masywy

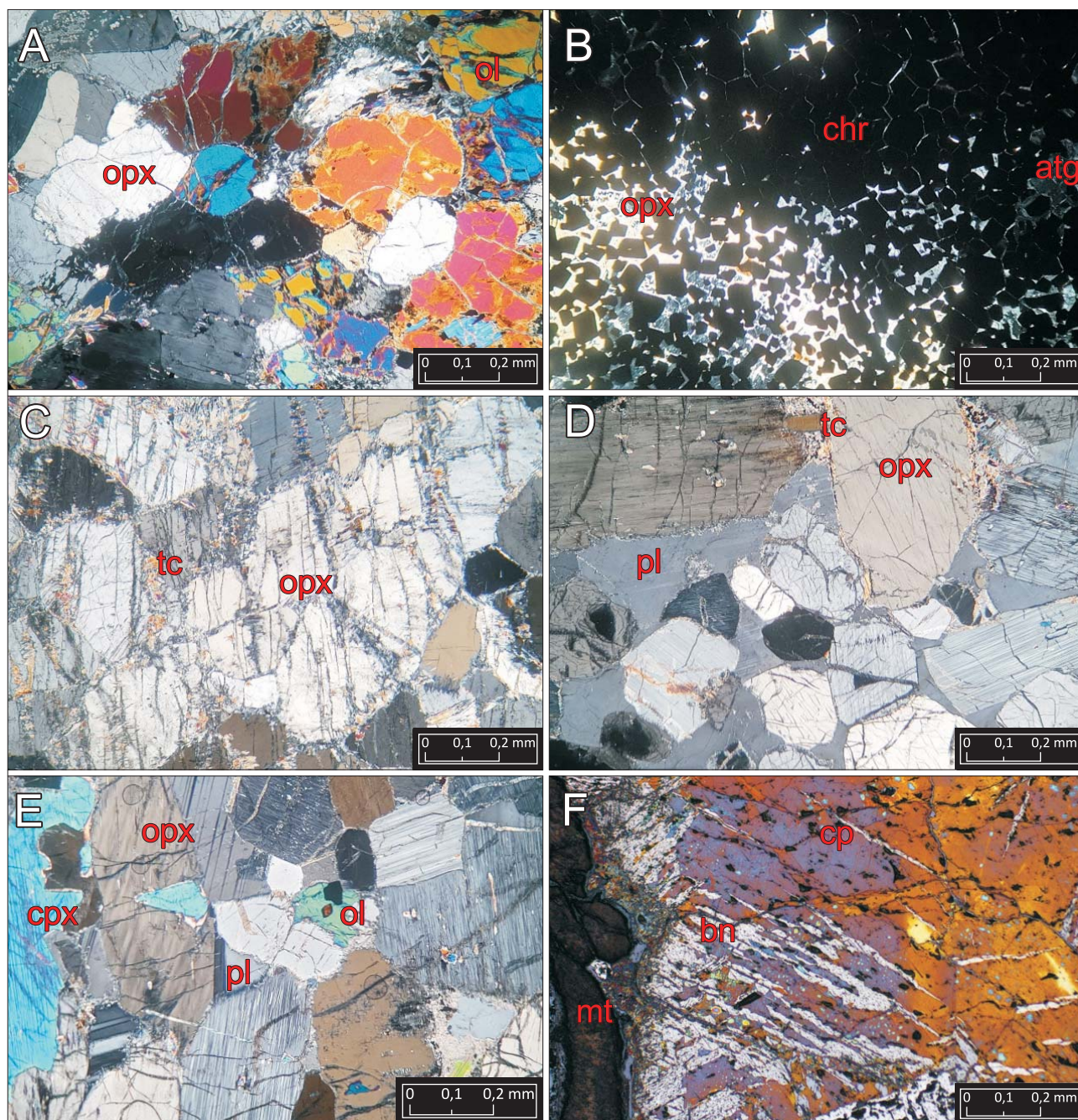
NKT oraz występują w skałach krytycznego horyzontu, np. w masywie Nyud.

Chromityty są skałami tworzącymi przewarstwienia w dunitach o strukturze drobnokrystalicznej, teksturze zbitej, bezładnej, kumulatywnej, poikilitowej. W skałach tych są widoczne ziarna chromitu w postaci licznych stykających się ze sobą kryształów (ryc. 3B), w formie poikilitowych wrostków wśród zserpentyzowanego oliwinu oraz ortopiroksenu. Wśród tych minerałów występują niewielkie ziarna milerytu oraz rutenitu. Chromityty znajdują się w strefie wtórnej iniekcji w masywie dunitowy blok.

Ortopiroksenity to skały o strukturze drobnokrystalicznej, teksturze zbitej, bezładnej. W skałach tych widoczne są liczne kryształy ortopiroksenu reprezentowanego przez bronzyt, które stykają się ze sobą. W przestrzeniach pomiędzy nimi znajdują się minerały wtórne, takie jak: niewielka ilość klinopiroksenu (diopsyd) oraz talku, antygorytu, a także pojedyncze kryształy plagioklastu (ryc. 3C). W sąsiedztwie kontaktu ze skałami harzburgitami oraz w pobliżu krytycznych horyzontów w skałach tych widoczna jest rozbudowana mineralizacja siarczkowa. Oprócz pirotynu, pentlandytu i chalkopiryty dostrzega się także towarzyszące im ziarna digenitu oraz bornitu. Ortopiroksenity współwystępują w harzburgitami w masywach NKT, a także wraz z norytami w masywach SNP.

Noryty i oliwinowe noryty to skały o strukturze grubokrystalicznej, teksturze ofitowej, są w nich widoczne duże ziarna ortopiroksenu, reprezentowane przez bronzyt. W ich sąsiedztwie może występować także oliwin, zwykle wykazujący anomalne deformacje, charakteryzujące się zonalnym ściemnianiem tego kryształu w świetle spolaryzowanym. W sąsiedztwie oliwinu i ortopiroksenu są widoczne kryształy talku, antygorytu oraz flogopitu (ryc. 3D). Tworzą one obwódki wokół oliwinu oraz drobne wrostki w ortopiroksenach. Pomiedzy tymi minerałami znajdują się liczne plagioklasty, występujące w postaci ofitowo ułożonych tabliczek. Niekiedy w tych skałach mogą występować duże kryształy klinopiroksenu (porfirowate gabronoryty, ryc. 3E). Można w nich również dostrzec mineralizację siarczkową, reprezentowaną przez pirotyn, któremu towarzyszą pentlandyt i chalkopiryty.

Masywne rudy siarczkowe to skały o strukturze grubokrystalicznej, teksturze poikilitowej, regeneracyjnej. Tworzą



Ryc. 3. Mikrofotografie typowych skał z Monchepluton: harzburgit (A), chromityt (B), ortopiroksenit (C), noryt (D) oraz oliwinowy gabbronoryt (E), masywna ruda siarczkowa (F) z widocznymi kryształami oliwiny, chromitu, ortopiroksenu, klinopiroksenu, flogopitu, talku, antigorytu oraz mineralizacji rudnej reprezentowanej przez siarczki: pirotyt, chalkopiryt, pentlandyt i towarzyszący im magnetyt. Objasnienia skrótów: atg – antigoryt, bn – bornit, chr – chromit, cp – chalkopiryt, cpx – klinopiroksen, mt – magnetyt, ol – oliwin, opx – ortopiroksen, pl – plagioklaz, tc – talk

Fig. 3. Micrographs of typical rocks from Monchepluton: harzburgite (A), chromite (B), orthopyroxenite (C), norite (D) and olivine gabbro-norite (E), massive sulphide ore (F) with visible crystals of olivine, chromite, orthopyroxene, clinopyroxene, phlogopite, talc, antigorite and ore mineralization represented by sulphides: pyrrhotite, chalcopyrite, pentlandite and accompanying magnetite. Explanations of abbreviations: atg – antigorite, bn – bornite, chr – chromite, cp – chalcopyrite, cpx – clinopyroxene, mt – magnetite, ol – olivine, opx – orthopyroxene, pl – plagioclase, tc – talc

one zwykle żyły dochodzące do 1–2 m miąższości, gdzie widoczny jest pirotyt, tworzący zwarte, stykające się ze sobą kryształy. Na tym tle znajdują się wprysnięcia pentlandytu w formie zaokrąglonych kryształów (ryc. 3F). W strefie granicznej zwiększa się ilość chalkopirytu. Na tle tej masy siarczkowej są widoczne poikilitowe wprysnięcia magnetytu. Na kontakcie magnetytu z siarczkami zaznacza się strefa przejściowa z występującymi tam minerałami bornitu, digenitu. Żyły masywnych siarczków są spotyka-

ne w masywach NKT oraz SNP głównie w strefach tektonicznych uskoków o charakterze syngenetycznym z zasługającą intruzją, a także w sąsiedztwie krytycznych horyzontów.

METODYKA

Autorzy prowadzili badania terenowe w rejonie Monchegorsk w okresie 2018–2021, a w rejonie Kvalsund w roku

2022. W trakcie tych badań wykonano makroskopową identyfikację skał, zwracano także uwagę na istniejącą infrastrukturę, jej stan oraz stopień zabezpieczenia terenu górniczego. Następnie pobrano próbki skał oraz gleb, które przetransportowano do Polski, gdzie wykonano preparaty płytek cienkich. Zostały one zbadane mikroskopowo oraz w mikroobszarze. Badania te przeprowadzono za pomocą optycznego mikroskopu polaryzacyjnego Leica DM2500P, a także skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi SU6600 z przystawką EDS. Analizy gleb, po wysuszeniu, wykonano z wykorzystaniem techniki XRF na zawartość metali pierwiastków ciężkich – spektrometr XRF Epsilon 5 firmy PANanalytical. Wyniki tych analiz przedstawiono w tabeli 1.

WYNIKI BADAŃ

W rejonie Kvalsund w Norwegii jest budowana kopalnia przez firmę *Nussir*, która planuje prowadzenie eksploatacji zeroemisyjnej z użyciem maszyn elektrycznych. Urobek jest wstępnie sortowany i rozdzielany na miejscu, a następnie ładowany do statków towarowych do celów jego dalszej obróbki. Materiał płonny jest zrzucany do pobliskiego fiordu. Obecnie jest zbudowany zakład przerobczy, czynny głównie w z sezonie wegetacyjnym (wiosenno-jesiennym) oraz pirs do cumowania statków. W strefie złożowej wykonano wielopoziomowy kamieniołom oraz jest głębiona sztolnia w masywie (ryc. 4). Właściwą kopalnię planuje się zbudować ok. 1 km dalej na zachód od obecnego miejsca (Anvaari, 2023). Zasobność złoża szacuje się na 43 mln t, a produkcję planuje się rozwinąć do 20 tys. t rocznie.

Sposób zrzucania skały płonnej budzi duże zastrzeżenia. W wyniku procesów przeróbki mechanicznej dochodzi do koncentrowania rudy, lecz proces ten nigdy nie prowa-

dzi do uwolnienia wszystkich minerałów rudnych zawartych w skale złożowej. Ponadto ekonomiczne podstawy działania takiej kopalni nie przewidują separacji minerałów rudnych ze skał towarzyszących strefie złożowej. Skały te zrzucane do fiordu mają kontakt z wodami Morza Północnego, które mogą reagować z zawartymi w nich siarczkami, przyczyniając się do ich korozji i rozpuszczania. Na skutek tych procesów może dochodzić do zanieczyszczenia wód, które są także wykorzystywane jako farmy hodowli łososia. Zanieczyszczenia te są monitorowane i ich obecność w wodach morskich budzi zastrzeżenia dla stabilności ekosystemów wodnych (Mun i in., 2020).

Innym problemem jest kwestia odwodnienia górotworu oraz zabezpieczenia terenu górniczego w trakcie pracy zakładu, a także po zaprzestaniu jego działalności. Obecnie wody pochodzące z kamieniołomu łączą się z lokalnymi ciekami. Niewykluczone, iż w przyszłości, gdy powstanie kopalnia, będzie prowadzony monitoring tych wód. Jednak rodzaj mineralizacji może wpływać na ich chemizm, a także zawartość metali ciężkich.

Po zakończeniu eksploatacji istotnym zagadnieniem będzie odpowiednie zabezpieczenie górotworu przed procesami erozji wynikającej z usuniętego urobku skalnego, a także niekontrolowanym wypływem wód. Działalność górnicza prowadzi także do zniszczeń w przyrodzie spowodowanych usunięciem roślinności w terenie górniczym (co ma obecnie miejsce), a następnie wytworzeniu licznych hałd, które będą zalegać po likwidacji zakładu (ryc. 5). Z uwagi na dużą wilgotność klimatu panującego w tej części Europy oraz wietrzenia fizycznego opartego na insolacji i zamrozie może dojść do przedostawania się metali ciężkich do środowiska naturalnego.

W rejonie Monchegorska eksploatacja terenu odbywała się głównie w XX w. W pierwszej połowie były prowa-

Tab. 1. Wykaz analiz XRF próbek gleb pochodzących z rejonu Moncheplutonu (MON) oraz Kvalsund (KVAL) z ukażaną zawartością metali [ppm]

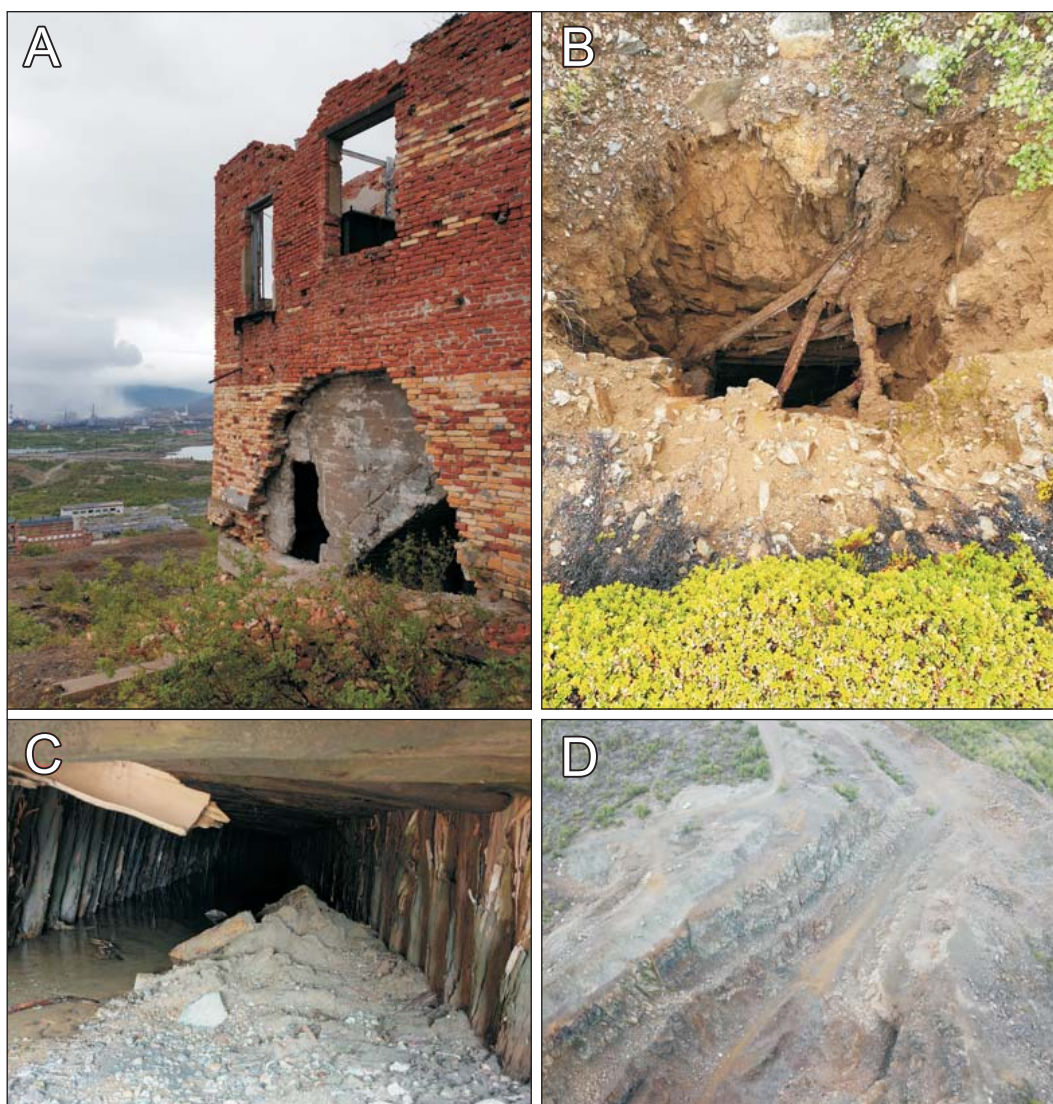
Table 1. Presentation of XRF results of soil samples from the Monchepluton (MON) and Kvalsund (KVAL) regions metal [ppm]

Próbka Sample	Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Sn
01MON	159	34	121		21	47	4	1	
02MON	294	52	90		9	43	2	1	
03KVAL	210	110	150	20		20			40
04KVAL	1650	120	210	20	20	40	10		
Standard*	741	46	167		83	198		1	

* The Loam7004 standard.



Ryc. 4. Teren górniczy Kvalsund: kamieniołom i hałdy (A) oraz pirs przeładunkowy dla statków towarowych (B)
Fig. 4. Kvalsund mining area: quarry and heaps (A) and a loading pier for cargo ships (B)



Ryc. 5. Fotografie terenu górniczego Monchegorsk ukazujące zrujnowane budynki kopalni (A) i niezabezpieczone szybiki w Nittis (B), starą sztolnię w rejonie Sopcha (C), nieczynny kamieniołom w rejonie Nyud (D). Wszystkie fot. M. Huber

Fig. 5. Photographs of the Monchegorsk mining area showing ruined mine buildings (A) and unprotected shafts in Nittis (B), an old adit in the Sopcha area (C), a closed quarry in the Nyud area (D). All photos by M. Huber

dzone intensywne prace poszukiwawcze, które zaowocowały licznymi kamieniołomami oraz szybami i kopalniami (ryc. 5). Ich działanie było intensyfikowane szczególnie w okresie II wojny światowej w wyniku wzrostu zapotrzebowania na metale kolorowe. W II połowie XX w. działania górnicze ograniczyły się do dwu dużych kopalni oraz kilku sztolni i kamieniołomów by z końcem lat 80. zostały całkowicie zaniechane.

W chwili obecnej istniejący na terenie masywu Sopcha zakład przerobczy zajmuje się rudą dowożoną głównie z Norylska. W rejonie intruzji znajduje się wiele obiektów infrastruktury górniczej, znaczna ich część jest zdewastowana, zrujnowana i stanowi zagrożenie życia dla osób odwiedzających ten obszar. Brak jest zabezpieczeń, ze zrujnowanych sztolni wypływają liczne strumienie niosące wody kopalniane. W zagłębieniach formują się liczne jeziora, a część jeziora Nyudyavr jest wykorzystywana jako zbiornik wód odpadowych zakładu przerobczego, gdzie wyrzucane są szlaki i żużel hutniczy. W strefie występowania hałd stwierdzono formowanie się czapy wietrznej

z uwodnionych minerałów siarczanowych krystalizujących na skutek migracji wód wśród skał urobku.

Zbadane próbki gleb pochodzących z rejonu Monchegorsk oraz Kvalsund wskazały jednoznacznie na podwyższoną zawartość metali ciężkich, w szczególności niklu, ołowiu, cynku, chromu oraz arsenu. We wszystkich próbach wartości tych metali są znaczne, co może wpływać na stan środowiska naturalnego, zważywszy, że próbki te pochodzą z powierzchniowych warstw gleb pobranych w terenie górniczym. W przypadku Kvalsund próbki te są w kontakcie hydraulicznym i są wymywane przez strumień niosący wodę bezpośrednio do morza.

DYSKUSJA

Omawiane dwa przykłady obszarów górniczych stanowią jaskrawy przykład ich dużego wpływu na środowisko w Arktyce (Huber i in., 2021). W przypadku Kvalsund zaproponowano zeroemisyjną gospodarkę prac górniczych oraz odbieranie koncentratu rudy w celu jej dalszej prze-

róbki w innym miejscu. Te środki mimo wszystko nie uchronią tego miejsca przed dewastacją przyrody i negatywnego wpływu na jej stan. Dotyczy to zwłaszcza przylegających do kopalni wzniesień i fiordu. Działania firmy górniczej budzą duże zastrzeżenia miejscowej ludności, która obawia się trwałych zmian środowiska naturalnego w regionie (protesty społeczne w 2022 r.). Biorąc pod uwagę planowane działania, można podzielać te obawy. Trudno zakazywać eksploatacji górniczej w obszarach bogatych w strategiczne złoża, jednak wymaga to znacznych nakładów prowadzonych w celu monitorowania zmian środowiska. W trakcie prowadzonych prac warto zwrócić uwagę na zagospodarowanie skały płonnej, która mogłaby być przechowywana w zabezpieczonych hałdach, a po przeprowadzeniu eksploatacji zostałyby przetransportowana w głąb nieczynnych wyrobisk kopalni. Innym potencjalnym zastosowaniem mogłoby być użycie jej jako kamienia łamanego do celów budowlanych, po wcześniejszym jej przebadaniu pod kątem środowiskowym. W kontraście do tego miejsca jest przykład regionu Monchegorska. Wzniesienia tej intruzji są zniszczone, posiadają zdewastowaną infrastrukturę, niezabezpieczoną przed nieuprawnionym wejściem, z licznymi śladami korozji minerałów rudnych znajdujących się na hałdach, przyczyniających się do zanieczyszczenia terenu. Ponadto z uwagi na sąsiadujące miasto Monchegorsk stanowi ona przedmiot zainteresowania mieszkańców. Wytyczane są szlaki piesze rowerowe, krosowe i wspinaczkowe. Kontrastują one ze zdewastowanymi i niezabezpieczonymi hałdami, kamieniołomami oraz szybami kopalń. Obszar ten stanowi strefę klęski ekologicznej o czym do 2018 r. informowały duże billboardy ustawione przy drodze. Odznacza się on zniszczeniami w porastającej wzniesienia lasotundrze. Z uwagi na bardzo wolne odradzanie się przyrody w rejonach arktycznych takie tereny wymagają kompleksowych prac rekultywacyjnych, które są kosztowne. Istnieje potrzeba zabezpieczenia wypływu cieków ze sztolni oraz monitorowania ich składu chemicznego. Występujące hałdy mogłyby posłużyć do częściowego zasypania kamieniołomów, a w nich należałoby ustabilizować ściany skalne przed samoczynnym niekontrolowanym zawałaniem się. Udostępnienie turystyczne tego obszaru powinno się odbywać wraz z monitoringiem zagrożeń wypływających ze stanu istniejącej infrastruktury. Te działania z uwagi na wysokie koszty są prowadzone w bardzo nikłym zakresie. Niewykluczone, iż w przyszłości będą planowane szersze prace rekultywacyjne. Jednak obecnie teren ten stanowi przykład ilustrujący zagrożenia ekosystemu środowiska w wyniku prowadzenia rabunkowej gospodarki surowcowej bez uwzględnienia strat środowiska naturalnego.

WNIOSKI

Przykład obu terenów górniczych pokazuje, iż trudno jest w chwili planowania przewidzieć wszystkie konsekwencje prowadzonych prac górniczych, szczególnie gdy w okresie poeksploatacyjnym dojdzie do zmian ekonomicznych i problemów z wydolnością finansową władz regionalnych. Scenariusz ten może być realny w każdym miejscu na Ziemi, gdzie prowadzi się eksploatację górniczą. Z uwagi na specyfikę klimatu Arktyki działania te są widoczne przez wiele lat po zakończeniu eksploatacji i wpływają na środowisko oraz krajobraz terenu pogórni-

czego. Oznacza to pilną potrzebę opracowania takich form działania, które w sposób możliwie maksymalny zniwelują straty środowiskowe wynikające z prac górniczych, a także opracowania kompleksowego planu rekultywacji terenów pogórniczych, gdyż niezależnie od wytyczonych granic i problemów polityczno-gospodarczych zagrożenia ekologiczne w jednej lokalizacji będą wpływać na spory obszar Arktyki.

Autorzy serdecznie dziękują anonimowemu Recenzentowi i redakcji za cenne uwagi i sugestie poprawy manuskryptu.

LITERATURA

- AMELIN Y.V., SEMENOV V.S. 1996 – Nd and Sr isotopic geochemistry of mafic layered intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the evolution of Paleoproterozoic continental mafic magmas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 124: 255–272.
- ANVAARI M. 2023 – Green shift or green colonialism. <https://www.mohsenphotography.com/green-shift-or-green-colonialism> [dostęp 20.04.2023].
- BOZHKO N.A. 2009 – Supercontinental cyclicality in the Earth's evolution. *Moscow Univer. Geol. Bull.*, 64 (2): 75–91; doi: 10.3103/S0145875209020021
- BOZHKO N.A. 2010 – Intraplate basic-ultrabasic magmatism through time in terms of supercontinental cyclicality. *Moscow Univer. Geol. Bull.*, 65 (3): 161–176; doi: 10.3103/S0145875210030026
- BAYANOVA T., KORCHAGIN A., MITROFANOV A., SEROV P., EKIMOVAN., NITKINA E., KAMENSKY I., ELIZAROV D., HUBER M. 2019 – Long-Lived Mantle Plume and Polyphase Evolution of Palaeoproterozoic PGE Intrusions in the Fennoscandian Shield. *Minerals*, 9: 59; doi: 10.3390/min9010059
- HUBER M. 2021 – Ewolucja kolsko-laplandzkiego pasa mobilnego w platynonośnej paleoproterozoicznej intruzji warstwowanej moncheplutonu. *Wyd. UMCS*, 234.
- HUBER M., IAKOVLEVA O., ZHIGUNOVA G., MENSHAKOVA M., GAINANOVA R. 2021 – Can the Arctic be saved for the next generations? Study of examples and internships in Murmansk District. *IOP Conf. Earth Environ. Sci.* 678: 01203; doi: 10.1088/1755-1315/678/1/012031
- HUBER M., CHMIEL S., IAKOVLEVA O. 2022 – Environmental Characteristics of the Mining Area of Ni–Cu–Fe Paleoproterozoic PGE Monchepluton Intrusion (NE Scandinavia). *Mining*, 2: 683–698; doi: 10.3390/mining2040037
- KUNAKKUZIN E.L., SEROV P.A., BAYANOVA T.B., NEROVICH L.I., BORISENKO E.S. 2014 – Paleoproterozoic Layered PGE-Bearing Monchetundra Pluton, Kola Peninsula: Sm–Nd Age of Metamorphic Alteration of Mafic Rocks. *Doklady Earth Sci.*, 464 (1): 885–888; doi: 10.1134/S1028334X15070181
- KUNAKKUZIN E., BORISENKO E., NEROVICH L., SEROV P., BAYANOVA T., ELIZAROV D. 2020 – The Origin and Evolution of Ore-Bearing Rocks in the Loypishnun Deposit (Monchetundra Massif, NE Fennoscandian Shield): Isotope Nd–Sr and REE Geochemical Data. *Minerals*, 10: 286.
- MOEN K. 2014 – Geological and Mineralogical Investigation of The Western Part of The Nussir Copper Deposit. *Norweg. Univer. Sci. Technol.*, 174.
- MUN Y., STRMIĆ PALINKAŠ S., FORWICK M., JUNTILA J., PEDERSEN K.B., STERNAL B., NEUFELD K., TIBLJAŠ D., KULLERUD K. 2020 – Stability of Cu-Sulfides in Submarine Tailing Disposals: A Case Study from Repparfjorden, Northern Norway. *Minerals*, 10: 169; doi: 10.3390/min10020169
- POZHILLENKO V.I., GAVRILENKO B.V., ZHIROV C.V., ZHABIN S.V. 2002 – Geology of mineral areas of the Murmansk Region. *Apatity Russ. Acad. Sci.* 360.
- PROTESTY społeczne w Kvalsund 2022 – <https://thebarentsobserver.com/en/industry-and-energy/2019/02/tailings-be-dumped-sea-copper-mine-gets-approval> [dostęp 20.04.2023].
- SANDSTAD J. 2008 – Geochemistry of drill cores from the Nussir copper deposit, Kvalsund, Finnmark, Northern Norway. *NGU Report 055*: 1–50.
- TORGERSEN E., GIULIO V., SANDSTAD J. 2016 – Revised structure and stratigraphy of the northwestern Repparfjord Tectonic Window, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*. 95: 1–25; doi: 10.17850/njg95-3-06

Praca wpłynęła do redakcji 28.04.2023 r.
Akceptowano do druku 29.05.2023 r.