

ENVIRONMENTAL & GEOANALYSIS Journal

Issue 2022 Volume 13 (2)

ISSN: 2544-9680

scipubl.com

email: sciences.publisher@gmail.com

SCIENCE PUBLISHER

Editor-in-Chief Olga Jakovleva

Maria Curie –Skłodowska University, Lublin, Poland

Redaction residence: Olga Jakovleva, 29 Korolowa st, 20-586 Lublin, Poland.

Co-Editors (Thematic Editors)

Tomasz M. Karpiński –biological sciences
University of Medical Sciences, Poznań, Poland

Galina Zhigunova – earth sciences
Murmansk State Humanitary University, Russia

Statistic Editor

Karolina Oszust, Lublin, Poland

Language Editor

Davor Kredic, *Chicago, USA*

Scientific Editorial Board

Artem Mokrushin, *Apatity, Russia*

Nikolai Kozlov, *Murmansk State Technical University, Apatity Russia.*

Sándor Kele, *Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary.*

List of Peer-Reviewers

[http:// www.scipubl.com /EaG/reviewers](http://www.scipubl.com/EaG/reviewers)

Author Guidelines

[http:// www.scipubl.com /EaG/submissions](http://www.scipubl.com/EaG/submissions)

More information

<http://www.scipubl.com/>

DISCLAIMER

The Publisher and Editors cannot be held responsible for errors and any consequences arising from the use of information contained in this journal; the views and opinions expressed do not necessarily reflect those of the Publisher and Editors, neither does the publication of advertisements constitute any endorsement by the Publisher and Editors of the products advertised.

Cover: <http://openwalls.com/image?id=20115>, Licence Creative Commons Attribution 3.0 Unported (CC BY 3.0)

Copyright: © The Author(s) 2022. Environmental and Geoanalysis Journal © 2022 O.A.Jakovleva. All articles and abstracts are openaccess, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License, which permits unrestricted, non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

Kopalnia w Kemi (N Finlandia) i perspektywy jej przyszłej rekultywacji

Kemi mine (N Finland) and prospects for its future reclamation

Miłosz A. Huber¹

¹Department of Geology, Soil Sciences and Geoinformacy, Earth and Environmental Science Institute, Maria Curie-Skłodowska University, 20 -718 Lublin, 2cd Kraśnicka rd., Poland, e-mail: milosz.huber@mail.umcs.pl
<https://orcid.org/0000-0001-7583-6230>

Key-words: Kemi, mine, Finland, heaps, reclamation

Abstract: The Kemi mine is an interesting area of the mine site, where there is underground mining and former open-pit mining. The site also contains numerous waste piles, which are clearly visible from a distance. Due to its location in the northern part of Finland, the taiga and the town of Kemi are close to the site. The purpose of this study is to propose the development of the heaps in such a way that it facilitates the comfort of the city's residents and interacts with the sustainable development of the territory. A number of scenarios related to the development of the heap are proposed, which can be divided into technological (operation of the heap, construction of renewable energy installations on the heap), utilitarian (construction of a park, recreation area) and natural (afforestation of the heap).

Abstrakt: Kopalnia w Kemi stanowi interesujący obszar zakładu górniczego, w którym jest prowadzona eksploatacja podziemna oraz była prowadzona eksploatacja odkrywkowa. Na terenie zakładu znajdują się także liczne hałdy, z daleka dobrze widoczne. Z uwag na położenie w północnej części Finlandii, bliskim sąsiedztwem tego zakładu jest tajga oraz miasto Kemi. Celem niniejszego opracowania jest propozycja zagospodarowania hałd w taki sposób aby ułatwiał on komfort życia mieszkańców miasta oraz współdziałał ze zrównoważonym rozwojem tego terytorium. Zaproponowano szereg scenariuszy związanych z zagospodarowaniem hałdy, które można podzielić na technologiczne (eksploatacja hałdy, wybudowanie instalacji odnawialnych źródeł energii na hałdzie), użytkowe (zbudowanie parku, miejsca rekreacji) oraz przyrodnicze (zalesienie hałdy).

Słowa-klucze: Kemi, kopalnia, Finlandia, hałdy, rekultywacja.

1. Wstęp

Intruzja warstwowa Kemi, zawierająca chromitowe kumulaty znajduje się w północnej części Finlandii, w sąsiedztwie Morza Bałtyckiego (fig. 1). Złoże to jest eksploatowane od lat sześćdziesiątych XX wieku, początkowo metodą odkrywkową, obecnie metodą wglębną. W sąsiedztwie miasta Kemi górują liczne hałdy związane z tą eksploatacją. Obok tych hałd znajdują się liczne obszary leśne, bagienne, które mogą stanowić cenny zasób przyrodniczy miasta. Stosowana obecnie eksploatacja podziemna może być impulsem do rozpoczęcie

procesu rekultywacji terenu, przynajmniej tych części hałd, które nie są obecnie bezpośrednio związane z procesem pozyskiwania rudy. Ponadto w chwili obecnej, gdy na aspekt środowiskowy kładzie się duży nacisk, można podjąć temat rekultywacji tak, aby efekt tych działań mógł pozytywnie wpłynąć na mieszkańców. Celem niniejszego artykułu jest omówienie charakteru hałd znajdujących się w Kemi oraz propozycja możliwych scenariuszy ich rekultywacji.



Fig. 1. Widok na hałdy w Kemi.

2. Metodyka

Badania terenowe przeprowadzone były w 2022 roku. W tym czasie zostały zinwentaryzowane hałdy oraz ich sąsiedztwo. Pobrane zostały próbki skał z hałd do celu ustalenia ich własności mineralnych i petrograficznych. Z próbek skał wykonano preparaty płytek cienkich a następnie obserwacje w polaryzacyjnym mikroskopie optycznym Leica DM2500P. Następnie próbki te były zbadane z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi SU6600 z przystawką EDS. Scenariusze rekultywacji zostały omówione na podstawie badań terenowych oraz porównania ich z literaturą.

3. Wyniki badań

3.1. Budowa geologiczne obszaru Kemi

Intruzja Kemi znajduje się w tzw. pasie Tornio-Näränkävåara, który znajduje się w północnej Finlandii i jest związany z proterozoicznymi intruzjami warstwowanymi [10,12,14-18, 23-25,28, 36, 62, 78]. Obszar górniczy zlokalizowany w rejonie miasta Kemi usytuowany jest w pobliżu granicy ze Szwecją po stronie Finlandii. Intruzja w Kemi nachylona jest pod kątem około 70° co zmusiło zakład górniczy do dalszej eksploatacji metodą podziemną. W intruzji tej można wyróżnić skały ultrazasadowe na których leżą skały zasadowe [2,3, 30-31, 37-40,44, 91]. Te pierwsze reprezentowane są przez dunity, piroksenity oraz ciała rudne tworzące warstwy chromitytu. Nad tymi skałami znajdują się gabronoryty i inne gabroidy. Skały tej intruzji zostały określone na wiek 2.44Ga [87,20]. Miąższość omawianej intruzji w strefie siodłowej ocenia się na 2km. Strefa rudna posiada miąższość od kilku do 160 metrów, średnio około czterdzieści [3,4]. W skałach ultrazasadowych leżących w sąsiedztwie rud można zauważyć wzbogacenie w drobne warstwy chromitowe. Z uwagi na znajdujące się w pobliżu młodsze skały wulkaniczne zaliczanych do pasa łupkowego Peräpohja, skały intruzji zostały zmetamorfizowane w niskich facjach co przyczyniło się do szeregu procesów wtórnych a następnie w trakcie orogenezy Svecofeńskiej.

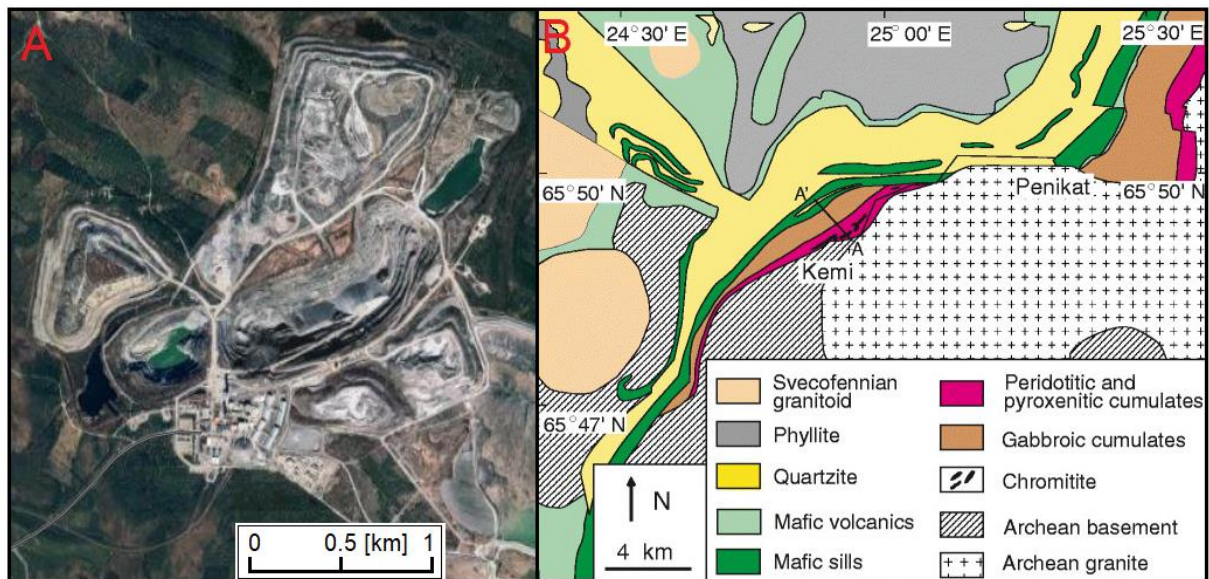


Fig. 2. Widok satelitarny Kemi (A) oraz fragment mapy geologicznej (B wg. 2,3,4, 91).

3.2. Stan zagospodarowania terenu kopalni

Kopalnia w Kemi stanowi istotny ważny źródło metali takich jak chrom, żelazo, platynowce. Kopalnia ta obecnie prowadzi eksploatację podziemną [9, 60], natomiast na powierzchni terenu widoczne są liczne hałdy, które powstały przez ponad półwieczny okres działalności tego zakładu. Już pobieżna obserwacja zdjęć satelitarnych wskazuje iż kopalnia ta posiada około 4 km² hałd. Składają się zwykle z kilku poziomów po 15-20m każdy. Obserwacje terenowe wykazały iż hałdy te budują różnej wielkości skały, tworząc materiał niewysortowany. Są tam zdeponowane zarówno serpentynity (w ilości 35%), jak i łupki talkowe (25%) z magnezytem, rudy chromitu (10%). Obok nich znajdują się także perydotyty i gabroidy (30%), w różnym stopniu zwiędzłe. Hałdy te są otoczone zabagnionym lasem z którym mają bezpośredni kontakt [7]. Opady deszczu i śniegu infiltrują te składowiska następnie trafiają do otaczających je cieków [5,19,59, 68, 89, 90, 70,71,79,80] a przez to mogą także przenikać do warstw powierzchniowych [8, 35, 48, 51, 52, 65,69,72].



Fig 3. Przykład warstwowanej rudy chromitowej (A) oraz kontakt hałdy z podmokłym lasem (B).

3.3. Charakterystyka mineralogiczna utworów hałdy

Badania tych skał wykazały iż są one mocno zserpentyzowane. W omawianych skałach antygoryt i chryzotyl jest widoczny we wszystkich zbadanych typach skał. Obok tych minerałów widoczne są także magnezyt wraz z chlorytami, klinzoisyt, epidotem. W wielu omawianych skałach występuje spinel reprezentowany przez chromity oraz magnetyt.

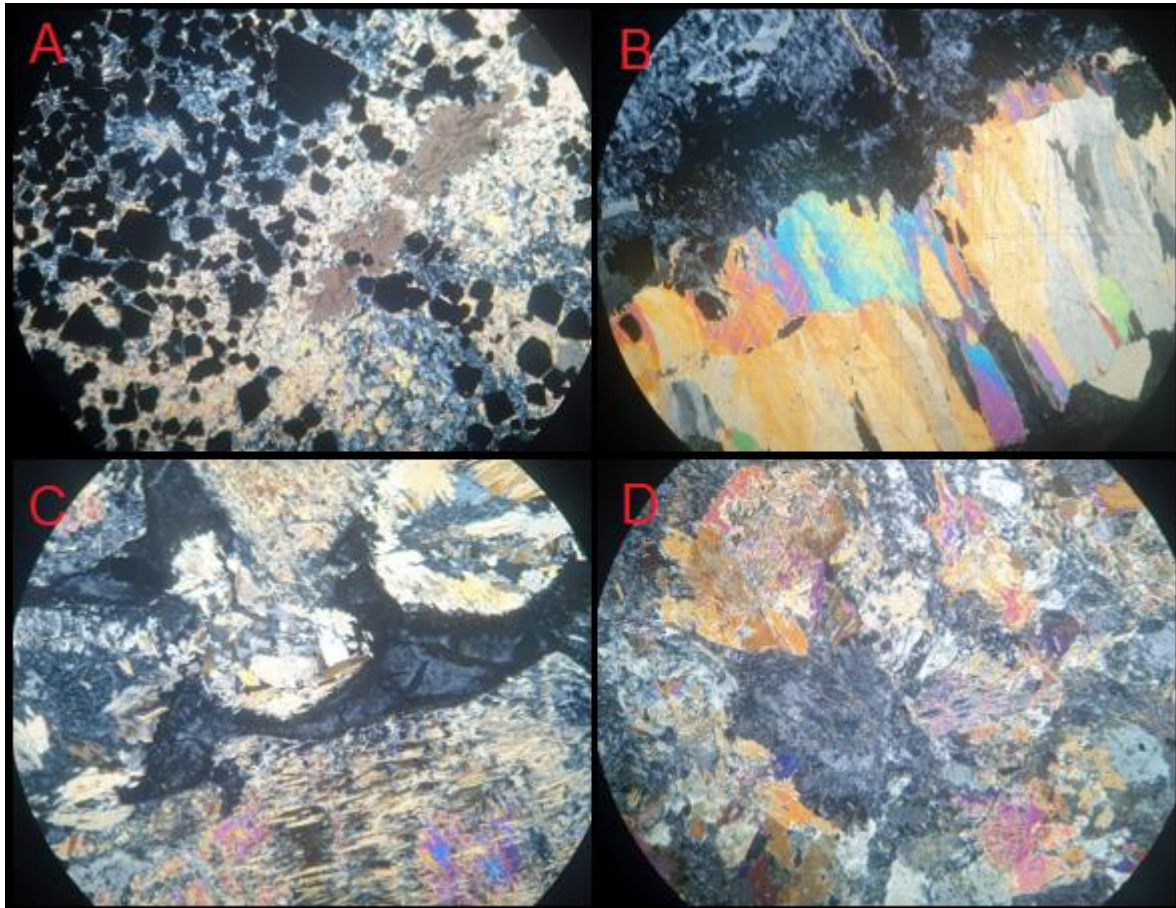


Fig. 4. Mikrofotografie w świetle przechodzącym: przykład rudy chromitowej z chromitami i talkiem (A), żyła magnezytu w serpentynie (B), zmieniony wtórnie kumulat piroksenowo – oliwinowy (C), relikty piroksenów oraz talk i epidot (D).

3.4. Propozycja rekultywacji hałd w Kemi

O ile rekultywacja całego terenu będzie możliwa dopiero po zamknięciu działalności kopalni, występujące w chwili obecnej hałdy można częściowo zagospodarować lub poddać rekultywacji. W tym celu poniżej opisano przykładowe scenariusze:

Powtórna eksploatacja materiału hałdy

Z uwagi na charakter występujących skał oraz ich mineralizacji w hałdzie, możliwy jest scenariusz ich ponownej eksploatacji. Dokonane obserwacje wskazują iż w pozostawionym materiale skalnym na hałdach znajdują się wciąż liczne minerały rudne, które mogły by być wykorzystane powtórnie do pozyskania rud metali. Dokonane na podstawie obserwacji terenowych obliczenia wskazują iż hałdy te zawierają w przybliżeniu 80 mln ton materiału

skalnego. Zakładając wyżej ukazane proporcje skał oraz znając zawartość % minerałów w omawianych typach skał można wskazać iż w hałdach zdeponowano około 680 tys. ton chromitu, 2 mln ton magnezytu oraz 30 mln ton serpentynu i 47 mln ton krzemianów. Wartości te są obarczone dużym błędem, gdyż do ich obliczenia stosowano duże uproszczenie, ich przedstawienie ma charakter reprezentatywny, ukazujący proporcje składników hałdy. Te składniki są znacznie łatwiejszym materiałem do ponownej eksploatacji niż w przypadku skał wydobywanych metodą górnictw. Ponadto zadeklarowanie reeksploatacji przez kopalnię niewielkiej ilości skał nawet przy obecnym jej charakterze wydobycia może stanowić niewielkie obciążenie a pozwoli to na ponowne przekształcenie materiału w omawianych hałdach. Opłacalność lub kosztowność tego przedsięwzięcia zależy od cen światowych chromu i innych metali, które mogły by być odzyskane w wyniku eksploatacji hałdy [6].

Wykorzystanie materiału skalnego hałd

Podczas re eksploatacji hałd można część materiału skalnego wykorzystać do celów inżynierskich, jako materiał wypełniający. Skały te mogą posłużyć jako forma niwelacji terenu, budowa fundamentów, przy budowie dróg, mostów, nasypów i innych konstrukcji inżynierskich, gdzie wykorzystywane są surowce skalne. W zależności od tego jaki jest cel zastosowania konstrukcji można by użyć różnej gradacji materiału skalnego także ze zwróceniem uwagi na jego własności inżynierskie [67]. Ten typ wykorzystania hałdy może być prowadzony na równi z omówioną powyżej formą odzyskiwania minerałów. Pozwoli to także na segregację typów skał tam znajdujących się i ich dalsze przeznaczenie. Biorąc pod uwagę potrzeby przemysłu drogowego, budowlanego i innych na surowce skalne, ten rodzaj wykorzystania materiału skalnego może być istotny dla zniwelowania obecnego stanu hałd. Warto nadmienić iż znajdujące się tam gabroidy o skały perydotytowe nadają się do różnego typu zastosowania, stanowią one znaczną część hałdy. Skały serpentynonośne mogą być wykorzystane z pewnymi ograniczeniami (z uwagi na obecność minerałów serpentynu). Licząc tylko te typy skalne można sumarycznie zagospodarować około 30 % hałd.

Wykorzystanie skał do celów ozdobnych

Jednym ze scenariuszy jest wykorzystanie skałek do celów ozdobnych. Skały znajdujące się na hałdach mogą stanowić ciekawe tło w ogródkach (tzw. „skalnik) lub jako drobna galanteria mineralna służąca do celów ozdobnych. Niektóre większe bloki można wypolerować i wykorzystać w formie pojedynczych płyt. Zapewne ilość skał nadających się do celu może w najlepszym razie wynosić 10% materiału hałdy. Pomysł ten może być realizowany niejako „przy okazji” wyżej wymienionych scenariuszy reeksploatacji materiału hałdy. Wiele z tych skał może być wykorzystanych jako interesujący element okładzin zewnętrznych, zatopionych w cemencie. Formy takie mogą być ciekawym rozwiązaniem dla interesujących architektonicznych idei.

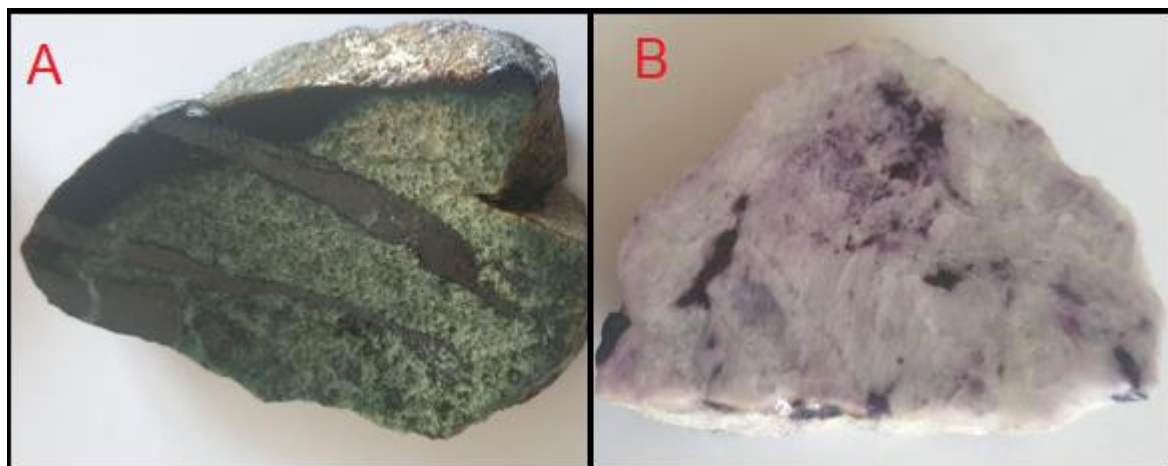


Fig. 5. Przykłady zglądów skał z Kemi: piroksenit z rudą chromitową (A) oraz łupek z talkiem, magnezytem i klinozoisytem (B).

Hałdy jako stoki narciarskie, park, amfiteatr

Dotychczas omówiono możliwości ponownego wykorzystania materiału z hałdy [50]. W przypadku gdy nie cały materiał zostanie wykorzystany powtórnie, zawsze można będzie omawiane hałdy zamienić w stoki narciarskie (przykład -góra Brighton USA [22], góra Kamięńsk Bełchatów, Polska [49]). W najbliższej okolicy dominuje teren płaski, zatem omawiane hałdy mogą być ciekawą aranżacją, która będzie mogła przyciągnąć mieszkańców i turystów [54, 66, 61, 63, 64]. Można na czole najwyższej z hałd (także po jej spiętrzeniu) zbudować wieżę widokową, zaś w jej stokach można usadowić wyciąg krzesełkowy i wytyczyć różne szlaki narciarskie. Latem wzniesienia te mogą być wykorzystywane jako punkt do letnich wycieczek plenerowych, uprawiania joggingu czy trekkingu z użyciem rowerów. W stokach hałd można także umieścić amfiteatr (jak to ma miejsce w Niemczech). Może on być częściowo zadaszony, będzie mógł wtedy pełnić funkcję kulturalną przez cały rok. Przy większym udziale środków finansowych można zbudować w oparciu o stok skocznię narciarską. Takie rozwiązanie może wzbogacić ofertę sportowo – turystyczną miasta zapewniając sobie potok turystów przez cały rok. Istnieje wiele przykładów w świecie podobnego wykorzystania hałd. Konkretny sposób ich zagospodarowania może zależeć od dostępności środków oraz lokalnych preferencji. Część ładnych okazów skalnych można wyeksponować jako formę przedstawienia różnorodności petrologicznej „pod gołym niebem” dla mieszkańców oraz turystów.



Fig. 6. Przykładowe zastosowanie hałd: stok narciarski góra Kamięńsk Bełchatów [49] (A), miejsca rekreacyjne na hałdzie w Katowicach [58] (B), skalniak na przykładzie Ogrodu Botanicznego UMCS w Lublinie [55] (C), instalacje plenerowe na przykładzie multisensorycznego ogrodu w Łazienkach w Warszawie (D).

Zalesienie hałd

Jednym z pomysłów zagospodarowania hałdy jest jej zalesienie. Może ona być zalesiona z udziałem miejscowych gatunków roślin w sposób taki, jak zalesione są okoliczne tereny. Pozwoli to na uzyskanie dodatkowych terenów leśnych, otaczających miasto i wpływających na jakość powietrza w mieście [1,7,21, 27, 45, 47, 53, 82-86]. Zalesienie hałd także może pełnić rolę lasu lub parku, w którym będą występować drzewa rodzime lub sprowadzone (forma arboretum), rosnące w warunkach klimatycznych, które panują w rejonie Kemi. W tym drugim rozwiązaniu można zaplanować alejki spacerowe oraz różnego rodzaju ścieżki edukacyjne w tym także takie, poświęcone budowaniu świadomości społecznej na temat problematyki ochrony środowiska oraz procesów rekultywacji i zrównoważonego rozwoju. Zalesianie hałd może odbywać się w sposób stopniowy, tak by nie przeszkadzać zakładowi górnictwu w pracy a jednocześnie powoli zmieniając omawiany teren. Przykłady zamiany hałd w tereny leśno – parkowe znane są z całego świata (np. w Cork w Irlandii). Rejon kopalni w przyszłości może stać się geoparkiem, a w sąsiedztwie hałd można zbudować geocentrum, w którym budowana będzie świadomość ekologiczna mieszkańców [26, 29, 32, 34, 41, 43, 45, 81,88, 56, 57,73-76].

Hałda jako miejsce pozyskiwania i gromadzenia energii.

Na terenie hałdy można umieścić farmy wiatrowe, gdyż wzniesienie zawsze jest miejscem gdzie wiatr jest mocniejszy niż w osłoniętym płaskim otoczeniu. Obok farm wiatrowych można zastosować także ogniwa fotowoltaiczne a także niewielki zbiornik wodny, który miałby za

zadanie gromadzenie energii w formie wody. Innym rozwiązaniem są tzw. windy grawitacyjne, które mogą być wykorzystywane jako element gromadzący energię [42]. W miarę wzrostu zainteresowania odnawialnymi źródłami energii tych sposobów jej gromadzenia jest coraz więcej, co także może wpłynąć pozytywnie na krajobraz omawianego terenu.

Relokacja materiału hałdy

Materiał hałdy w ostateczności może zostać przeniesiony w inne zabezpieczone miejsce. Taka forma zniweluje przestrzeń zajmowaną obecnie przez te obiekty. Jest to niewątpliwie drogie rozwiązanie i być może także kłopotliwe, jednak plusem tego pomysłu jest sprawdzenie materiału hałdy który podczas procesu relokacji może być powtórnie wykorzystany (przynajmniej w formie częściowej) a w nowym miejscu będzie on składowany w odpowiednich warunkach w zabezpieczonym podłożu [77, [8, 35, 48, 51, 52, 65,69,72].

4. Dyskusja

Omawiany teren stanowi czynny zakład górniczy. Obecnie prowadzona jest tam eksploatacja techniką podziemną. Na powierzchni pozostaje nieczynny kamieniołom oraz liczne hałdy, których powierzchnia stale rośnie. Na hałdzie znajdują się różnej wielkości głązy skalne. Są one reprezentowane przez skały piroksenitowe i gabroidowe oraz łupki talkowo – serpentynowe z domieszką chromitytów i magnezytu. Materiał ten jest sukcesywnie deponowany, zwiększając objętość hałd, widocznych już po nad granicą lasu. Tą sytuację można zmienić poprzez rekultywację tego terenu. Proces ten może być przeprowadzony w sposób częściowy (obecnie) i całkowity (w przyszłości), jednorazowy lub wieloetapowo. Znane są liczne przykłady prowadzonych rekultywacji terenów górniczych. Istotnym w tym przypadku czynnikiem jest dostosowanie się do warunków klimatycznych i przyrodniczych z uwzględnieniem specyfiki zakładu.

Omówione propozycje rekultywacji można podzielić na kilka typów: aktywny o charakterze technicznym (ponowne wykorzystanie materiału hałd: re-eksploatacja, wykorzystanie materiału skalnego), technicznym -pasywnym (hałda jako miejsce posadowienia odnawialnych źródeł energii) oraz aktywny – przyrodniczy (utworzenie parku, centrum rekreacji), i przyrodniczym – pasywnym (zalesienie). Każdy z wyżej wymienionych pomysłów można realizować oddzielnie lub zastosować różną konfigurację tych idei w zależności od woli mieszkańców.

5. Wnioski

Omawiany obszar stanowi interesujący teren zawierający rudy licznych metali. W chwili obecnej jest eksploatowany techniką górniczą. Nad kopalnią znajdują się liczne hałdy, których wielkość obecnie się zwiększa. Zaproponowane scenariusze rekultywacji tych obszarów dotyczą bliżej nieokreślonej przyszłości, gdyż można je zastosować w pewnym stopniu obecnie ale całkowita rekultywacja może się odbyć po zakończeniu eksploatacji w zakładzie górniczym. Przedstawiono kilka scenariuszy, które można określić jako aktywne -techniczne lub przyrodnicze, pasywne techniczne lub przyrodnicze. Ich zastosowanie w różnej konfiguracji oraz stopni zależności będzie od woli mieszkańców oraz decyzji władz zarządzających zakładem górniczym.

6. Literatura

- 1 Aamlid, D.; Venn, K. Methods of monitoring the effects of air pollution on forest and vegetation of eastern Finnmark, Norway, *Norw. J. Agr. Sci.* **1993**, 7, 71-87,
- 2 Kyläkoski, M.; Hanski, E.; Huhma, H. The Petäjaskoski Formation, a new lithostratigraphic unit in the Paleoproterozoic Peräpohja Belt, northern Finland. *Bull Geol Soc Finl*, **2012**, 84, 85–120.
- 3 Alapieti, T.T.; Huhtelin, T.A. The Kemi intrusion and associated chromitite deposit. In Alapieti TT, Kärki AJ (eds) Early Palaeoproterozoic (2.5–2.4 Ga) Tornio–Näränkäväära layered intrusion belt and related chrome and platinum-group element mineralization, Northern Finland. *Geol Surv Finl*, Guide **2005**, 51a, 13–32.
- 4 Alapieti, T.T.; Kujanpää, J.; Lahtinen, J.J.; Papunen, H. The Kemi stratiform chromitite deposit, northern Finland. *Econ. Geol.* **1989**, 84, 1057–1077.
- 5 Ammann, A.A. Speciation of heavy metals in environmental water by ion chromatography coupled to ICP–MS. *Anal Bioanal Chem* **2002**, 372, 448–452. <https://doi.org/10.1007/s00216-001-1115-8>
- 6 Topal, E. Early start and late start algorithms to improve the solution time for long-term underground mine production scheduling. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* **2008**, 108, 99-107
- 7 Aune, S.; Hofgaard, A.; Söderström L. Contrasting climate- and land-use-driven tree encroachment patterns of subarctic tundra in northern Norway and the Kola Peninsula. *Can. J. For. Res.* **2011**, 41, 437–449. <https://doi.org/10.1139/X10-086>
- 8 Aydinalp, C.; Marinova, S. Distribution and Forms of Heavy Metals in Some Agricultural Soils. *Polish Journal of Environmental Studies* **2003**, 12 (5), 629-633
- 9 Newman, A.A.; Kuchta, M. Using aggregation to optimize long-term production planning at an underground mine. *European Journal of Operational Research* **2007**, 176, 1205–1218. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.09.008>
- 10 Bayanova, T.; Korchagin, A.; Mitrofanov, A.; Serov, P.; Ekimova, N.; Nitkina, E.; Kamensky, I.; Elizarov, D.; Huber, M. Long-Lived Mantle Plume and Polyphase Evolution of Palaeoproterozoic PGE Intrusions in the Fennoscandian Shield. *Minerals* **2019**, 9, 59, 3-22.
- 11 Bayanova, T.B.; Kunakkuzin, E.L.; Serov, P.A.; Fedotov, D.A.; Borisenko, E.S.; Elizarov, D.V.; Larionov, A.V. Precise U-Pb (Id-Tims) and SHRIMP-II ages on single zircon and Nd-Sr signatures from Achaean TTG and high aluminum gneiss on the Fennoscandian Shield. in: *32nd Nordic Geological Winter Meeting*, Helsinki, Finland, **2018**, 13–15. I., 172.
- 12 Bayanova, T.B.; Ludden, J.; Mitrofanov, F.P. Timing and duration of Palaeoproterozoic events producing ore-bearing layered intrusions of the Baltic Shield: metallogenic, petrological and geodynamic implications, in: Reddy, S .M, Mazumder, R ., Evans, D .A .D . & Collins, A.S . (eds) . *Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution* **2009**, 323,165-198 .
- 13 Bayanova, T.B. *Age of benchmark geological complexes of the Kola region and magmatism processes action*. Sankt Petersburg, Nauka **2004**, 174. (In Russian)
- 14 Bayon, G.; Birot, D.; Bollinger, C.; Barrat, J.A. Multi-Element Determination of Trace Elements in Natural Water Reference Materials by ICP-SFMS after Tm Addition and Iron Co-precipitation. *Geostandarts and Geoanalytical Research*, **2010**, 35 (1), 145-153. <http://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2010.00064.x>
- 15 Iljina, M.; Hanski, E. Layered mafic intrusions of the Tornio–Näränkäväära belt. [in:] Lehtinen, M.; Nurmi, P.A.; Rämö, O.T. (eds) *Precambrian geology of Finland—key to*

- the evolution of the Fennoscandian Shield. Developments in Precambrian geology*. 14. Elsevier Science B.V, Amsterdam, **2005**, 101–138.
- 16 Bozhko, N.A. Intraplate Basic–Ultrabasic Magmatism Through Time in Terms of Supercontinental Cyclicality. *Moscow University Geology Bulletin* **2010**, 65:3, 161–176. <https://doi.org/10.3103/S0145875210030026>
- 17 Bozhko, N.A. On Two Types of Supercontinental Cyclicality. *Moscow University Geology Bulletin* **2011**, 66:5, 313–322. <https://doi.org/10.3103/S0145875211050036>
- 18 Bozhko, N.A. Supercontinental Cyclicality in the Earth’s Evolution. *Moscow University Geology Bulletin* **2009**, 64:2, 75–91. <https://doi.org/10.3103/S0145875209020021>
- 19 Caritat P.; Reimann, C.; Äyräs, M.; Niskavaara, H.; Chekushin, V.A.; Pačov, V.A. Stream water geochemistry from selected catchments on the Kola Peninsula (NW Russia) and in neighbouring areas of Finland and Norway: 1. Elements levels and sources. *Aquatic Geochemistry* **1996**, 2:2, 149–168.
- 20 Perttunen, V.; Vaasjoki, M. *U-Pb* geochronology of the Peräpohja Schist Belt, northwestern Finland. [in:] Vaasjoki, M. (Ed.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. *Geol Surv Finl, Special Paper* **2001**, 33, 45–84.
- 21 Colin, V.L.; Villegas, L.B.; Abate C.M. Indigenous microorganisms as potential bioremediators for environments contaminated with heavy metals. *International Biodeterioration et Biodegradation* **2012**, 69, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.001>
- 22 Brighton Mt in USA: <https://www.mtbrighton.com/> accessed: 10.10.2022.
- 23 Ernst, R.; Bleeker, W. Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes, significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to the Present. *Canadian Journal of Earth Sciences* **2010**, 47, 695–739.
- 24 Ernst, R.E.; Srivastava, R.K. India’s place in the Proterozoic world, constraints from the large igneous provinces (LIP) record. In Indian dyke Edited by R.K. Srivastava, Ch. Sivaji, and N.V. Chalapathi Rao. *Geochemistry, Geophysics, and Geochronology* Narosa Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi, India, **2008**, 41–56.
- 25 Evans, D.A.D.; Li, Z.X.; Murphy, J.B. Four-dimensional context of Earth’s supercontinent. *The Geological Society of London, Special Publications*, **2016**, 424, 1–14.
- 26 Fang, W.; Xiaolei, Z.; Zhaoping, Y.; Fuming, L.; Heigang, X.; Zhaoguo, W.; Hui, S. Analysis on spatial distribution characteristics and geographical factors of Chinese National Geoparks. *Cent. Eur. J. Geosci* **2014**, 6:3, 279–292. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0184-x>
- 27 Filipiak-Szok, A.; Kurzawa, M.; Szłyk, E.; Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **2015**, 30, 54–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.10.008>
- 28 Glebovitsky, V.A. *Early Precambrian of the Baltic Shield* Nauka St Petersburg, **2005**, 710.
- 29 Gravis, I.; Németh, K.; Twemlow, C.; Németh, B. The Case for Community-Led Geoheritage and Geoconservation Ventures in Māngere, South Auckland, and Central Otago, New Zealand, *Geoheritage* **2020**, 12, 19. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00449-4>
- 30 Grebnev, R.A.; Rundkvist, T.V.; Pripachkin, P.V. Geochemistry of Mafic Rocks of the PGE -Bearing Vurechuaivench Massif (Monchegorsk Complex, Kola Region).

- Geochemistry International* **2014**, 52:9, 726–739. <https://doi.org/10.1134/S0016702914070027>
- 31 Grokhovskaya, T.L.; Ivanchenko, V.N.; Karimova, O.V. Geology, mineralogy, and genesis of PGE mineralization in the South Sopcha Massif, Monchegorsk Complex, Russia. *Geol. Ore Deposits* **2012**, 54:5, 347–369.
- 32 Gürer A.; Gürer Ö.F.; Sangu, E. Compound geotourism and mine tourism potentiality of Soma region, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* **2019**, 12, 734 <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4927-6>
- 33 Hanski E.; Huhma, H.; Smolkin, V.F., Vaasjoki M.. The age of the ferropicritic volcanics and comagmatic Ni-bearing intrusions at Pechenga, Kola Peninsula, USSR Bull. *Geol. Soc. Finl.* **1990**, 62, 123-133.
- 34 Hose, T.A. 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage*, **2012**, 4, 7–24 <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0052-y>
- 35 Hseu, Z.Y. Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. *Bioresource Technology* **2004**, 95, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.008>
- 36 Huber, M. *Evolution of the Kola - Lapland Mobile Belt in PGE - bearing Paleoproterozoic Layered Intrusion of Monchepluton*. Maria Curie - Skłodowska University Press. **2021**, 234.
- 37 Huber, M.; Hałas, S.; Piestrzyński, A.. Petrology of gabroides and isotope signature of sulfide mineralization from Fedorov-Pansky layered mafic intrusion, Kola Peninsula, Russia; *Geochronometria* **2009**, 33, 19-22.
- 38 Huber, M.; Hałas, S.; Lata, L.; Mitrofanov, F.P.; Neryadovski, Y.N.; Bayanova, T.B., table isotope results of sulfides from old mafic intrusions in the Kola Peninsula (N Russia) *Journal of Biology and Earth Sciences*, **2014**, 4:51, 27-28
- 39 Huber, M.; Hałas, S.; Neradovski, Yu.; Bayanova, T.; Mokrushin, A.; Lata, L. Stable isotope geochemistry of sulfides from intrusion in Monchegorsk, Northern part of Baltic Shield, *Geochronometria*, **2016**, 43, 96-101, <https://doi.org/10.1515/geochr-2015-0034>.
- 40 Huber, M.; Hałas, S.; Serov, P.A.; Ekimova, N.A.; Bayanova, T.B. Stable isotope geochemistry and Sm-Nd, U-Pb dating of sulphides from layered intrusions in the northern part of Baltic Shield. *Central European Geology* **2013**, 56:2-3, 134-135.
- 41 Huber, M.; Iakovleva, O.; Tourism, Scientific, and Didactic Potential of the Ultrabasic-Alkaline Intrusion in Afrikanda with Perovskite Mineral (Kola Peninsula, N Russia) and of the Related Built Heritage. *Heritage*, **2021**, 4, 3892-3907. <https://doi.org/10.3390/heritage4040213>
- 42 Huber, M.; Rusek, A.; Menshakova, M.; Zhigunova, G.; Chmiel, S.; Iakovleva, O. Possibilities of Sustainable Development including Improvement in Air Quality for the City of Murmansk-Examples of Best Practice from Scandinavia, *Climate*, **2022**, 10:2, 15; <https://doi.org/10.3390/cli10020015>
- 43 Huber, M.; Zhigunova, G.; Menshakova, M.; Iakovleva, O.; Karimova, M. Geoheritage of the Monchegorsk Igneous Layered Paleoproterozoic Intrusion (Kola Peninsula, Arctic Russia): Evaluation and Geotourism Opportunities, *Heritage*, **2021**, 4, 3583–3610. <https://doi.org/10.3390/heritage4040198>
- 44 Huber, M.A.; Hałas, S.; Neradovsky, Y.N.; Bayanova, T.B.; Mokrushin, A.W.; Lata, L. Stable isotope geochemistry of sulfides from intrusion in Monchegorsk, Northern part of baltic shield. *Geochronometria*, **2016**, 43, 96-101.
- 45 Ignatyeva, M.; Yurak, V.; Pustokhina, N. Recultivation of Post-Mining Disturbed Land: Review of Content and Comparative Law and Feasibility Study. *Resources*, **2020**, 9, 73; <https://www.doi.org/10.3390/resources9060073>

- 46 Johansson, P.; Lauri, L.S.; Voytekhovskiy, Y.L. *Barents tour for geotourists*. Kolarctic, Rovaniemi Finland Publishing House, **2014**.
- 47 Jończy, I.; Huber, M.; Lata, L. Vitrified metallurgical wastes after zinc and lead production from the dump in Ruda Śląska in the aspect of mineralogical and chemical studies. *Mineral Resources Management*, **2014**; *30:1*, 161-174.
- 48 Kizilkaya, R.; Askin, T.A.; Bayrakli, B.; Saglam M. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology* **2004**, *40*, 95–102.
- 49 Kamiensk Mt in Poland: <http://www.gorakamiensk.info/> accessed 10.10.2022.
- 50 Katowice dump: <https://www.frantkiwedrowniczki.pl/2017/05/hada-w-kostuchnie.html> accessed 10.10.2022.
- 51 Koptsik, G.N. Niedbaiev, N.P.; Koptsik, S.V.; Pavluk, I.N. Heavy metal pollution of forest soils by atmospheric emissions of Pechenganikel smelter, *Eurasian Soil Sci.* **1999**, *32:8*, 896-903,
- 52 Koptsik, S.V.; Koptsik, G. Soil pollution in terrestrial ecosystems of the Kola peninsula, Russia, *10th international Soil Conservation Organization Meeting*, 24-29 may, **1999**, 212-216,
- 53 Koroleva, N. E. Phytosociological survey of the tundra vegetation of the Kola Peninsula. *J. Veget. Sci.* **1994**, *5*, 803-812.
- 54 Park in Ruda Śląska dump: <https://katowice.wyborcza.pl/katowice/7,124132,24684518,halda-juz-niegrozna-i-atrakcyjna.html> accessed 10.10.2022.
- 55 Botanical Garden at the Maria Curie – Sklodowska University in Lublin, Poland <https://www.umcs.pl/pl/teraz-w-ogrodzie,5177,wrzesien-2020,93134.chtm> accessed 10.10.2022.
- 56 Huber, M.; Chmiel, S.; Iakovleva, O. Environmental Characteristics of the Mining Area of Ni–Cu–Fe Paleoproterozoic PGE Monchepluton Intrusion (NE Scandinavia). *Mining* **2022**, *2(4)*, 683-698; <https://doi.org/10.3390/mining2040037>
- 57 Huber, M.; Iakovleva, O.; Zn-Pb Dumps, Environmental Pollution and Their Recultivation, Case of Ruda Śląska-Wirek, S Poland. *Mining* **2022**, *2(3)*, 616-628; <https://doi.org/10.3390/mining2030033>
- 58 Park in Katowice Dump <https://katowice.wyborcza.pl/katowice/7,124132,24298060,pocynkowa-halda-jest-juz-bezpieczna-i-atrakcyjna-dla-wszystkich.html> accessed 10.10.2022
- 59 Malassa, H.; Al-Qutob, M.; Al-Khatib, M.; Al-Rimawi, F. Determination of Different Trace Heavy Metals in Ground Water of South West Bank/Palestine by ICP/MS. *Journal of Environmental Protection*, **2013**, *4*, 818-827 <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.48096>
- 60 Kemi mine: <https://www.outokumpu.com/en/locations/kemimine> accessed 10.10.2022.
- 61 Lapland Visitor Center: <https://www.visitfinland.com/en/places-to-go/lapland/> Accessed 10.10.2022
- 62 Mitrofanov, F.P.; Smolkin, V.F. *Stratified intrusions of the Monchegorsk ore region: petrology, mineralization, isotopes, deep structure*. In 2 parts. Ed. Apatity: Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, **2004**, 344
- 63 The Nord Travel Guide: <https://www.roughguides.com/finland/north/> Accessed 10.10.2022
- 64 Finland, Sustainable Tourism in the Nord: <https://natnorth.is/visions/finland> accessed 10.10.2022

- 65 Moor, Ch.; Lymberopoulou, T.; Dietrich, V.L. Determination of Heavy Metals in Soils, Sediments and Geological Materials by ICP-AES and ICP-MS. *Mikrochim. Acta* **2001**, *136*, 123-128.
- 66 Kemi Visitor Center: <https://www.kemi.fi/en/leisure-and-culture/tourism/visit-kemi/> Accessed 02.10.2022
- 67 Pactwa, K.; Woźniak, J.; Dudek, M. Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, **2020**, *270*, 117493.
- 68 Paczynski, B. *Influence of geogenic and anthropogenic groundwater. [in] The changes of water as a result of natural and anthropogenic processes.* Dynowska, I. Ed. Iagiellonian University press, Krakow. **1993**, 211 - 270
- 69 Paszko, T.; Matysiak, J.; Kamiński, D.; Pasieczna – Patkowska, S.; Huber, M.; Król, B.; Adsorption of bentazone in the profiles of mineral soils with low organic matter content. *PLOS One*, **2020**, *15*:2, 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242980>.
- 70 Patel, K.S.; Yadav, A.; Sahu, Y.; Sahu, P.K.; Lata, L.; Huber, M.; Corns, W.T.; Martín-Ramos, P.; Tree Bark as a Bioindicator for Arsenic and Heavy Metal Air Pollution in Rajnandgaon District, Chhattisgarh, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, **2020**, *24*:1, Article Number: 05019006 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000475](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000475)
- 71 Pekkaa, L.; Ingria, J.; Widerlund, A.; Mokrotovarova, O.; Riabtseva, M.; Öhlander, B. Geochemistry of the Kola River, northwestern Russia, *Applied Geochemistry*, **2004**, *19*:12, 1975-1995,
- 72 Pereverzev, V.N. Peat Soils of the Kola Peninsula, *Eur. Soil Sc.*, **2005**, *38*:5: 457-464,
- 73 Piippo, S.; Juntunen, A.; Kurppa, S.; Pongrácz, E. The use of bio-waste to revegetate eroded land areas in Ylläs, Northern Finland: Toward a zero waste perspective of tourism in the Finnish Lapland, *Resources, Conservation and Recycling*, **2014**, *93*, 9-22. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.015>.
- 74 Kaisanlahti-Jokimäki, M.L.; Jokimäki, J.; Huhta, E.; Ukkola, M.; Helle, P.; Ollila, T. Territory occupancy and breeding success of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) around tourist destinations in northern Finland. *Ornis Fennica* **2008**, *85*, 2–12.
- 75 Wei, X.; Ma, E.; Pan, Y. Outbound vs. domestic travel expenditure: the lens of thaler’s mental account and family utility function. *Journal of China Tourism Research* **2022**, *18*(5), 1120-1141.
- 76 Pouta, E. Neuvonen, M.; Sievänen, T.; Determinants of Nature Trip Expenditures in Southern Finland – Implications for Nature Tourism Development, **2006**, *6*, 118-135 <https://doi.org/10.1080/15022250600658937>
- 77 Sereshti, H.; Heravi, Y.E.; Samadi, S.; Optimized ultra sound-assisted emulsification microextraction for simultaneous trace multielement determination of heavy metals in real water samples by ICP-OES. *Talanta* **2012**, *97*, 235–241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2012.04.024>
- 78 Sharkov, E.V. *Formation of layered intrusions and related mineralization.* Scientific world, Moscow **2006**, 364.
- 79 Sharma, R.; Yadav, A.; Ramteke, S.; Chakradhari, S.; Patel, K.S.; Lata, L.; Huber, M.; Li P.; Allen, J.; Corns, W.; *Contamination of arsenic and heavy metals in coal exploitation area.* [in:] Yong-Guan, Z.; Huaming, G.; Prosun, B.; Jochen, B.; Arslan, A.; Ravi, N.; (eds.) Environmental Arsenic in a Changing World. CRC Press/ Taylor & Francis Group, 2019, 381-385, 9781351046633, [714] 10.1201/9781351046633

- 80 Sharma, R.; Yadav, A.; Ramteke, S.; Patel, K.S.; Lata, L.; Huber, M.; Corns, W.T.; Martín-Ramos P., Heavy Metal Pollution in Surface Soil of Korba Basin, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste* **2019**, *23:4* Article Number: 05019004 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000460)
- 81 Sinnyovsky, D.; Sachkov, D.; Tsvetkova, I.; Atanasova, N. Geomorphosite Characterization Method for the Purpose of an Aspiring Geopark Application Dossier on the Example of Maritsa Cirque Complex in Geopark Rila, Rila Mountain, SW Bulgaria. *Geoheritage*, **2020**, *12*: 26 <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00451-w>
- 82 Saarinen, J.; Tervo, K. Perceptions and adaptation strategies of the tourism industry to climate change: the case of Finnish nature-based tourism entrepreneurs. *Int. J. Innovation and Sustainable Development*, **2006**, *1* (3), 214-228.
- 83 Ahtikoski, A.; Tuulentie, S.; Hallikainen, V.; Nivala, V.; Vatanen, E.; Tyrväinen, L.; Salminen, H. Potential Trade-Offs Between Nature-Based Tourism and Forestry, a Case Study in Northern Finland. *Forests* **2011**, *2*(4), 894-912; <https://doi.org/10.3390/f2040894>
- 84 Tyrväinen, L.; Tuulentie, S. The future of nature based tourism. *Futura* **2009**, *28*, 46-54.
- 85 Hakkarainen, M.; Tuulentie, S. Tourism's role in rural development of Finnish lapland: Interpreting national and regional strategy documents. *Fennia* **2008**, *186*, 3-13.
- 86 Shrestha, R.K.; Stein, T.V.; Clark, J. Valuing nature-based recreation in public natural areas of the apalachicola river region, Florida. *J. Environ. Manage.* **2007**, *85*, 977-985
- 87 Wiszniewska, J. Ore deposits of northern Sweden and Finland. *Polish Geological Review*, 1988, *46* (8), 665-673. (in Polish)
- 88 Woo, K.S.; Chun, S.S.; Moon, K.O. Outstanding Geoheritage Values of the Island-Type Tidal Flats in Korea. *Geoheritage*, **2020**, *12:8*. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00445-8>
- 89 Yadav, A.; Patel, K.S.; Lata, L.; Huber, M.; Li, P.; Allen, J.; Corn, W.; Contamination of water, soil and plant with arsenic and heavy metals. [in:] Yong-Guan, Z.; Huaming, G.; Prosun, B.; Jochen, B.; Arslan, A.; Ravi, N.; (eds.) *Environmental Arsenic in a Changing World*. *CRC Press/ Taylor & Francis Group*, **2019**, 386-387, 9781351046633, [714] [10.1201/9781351046633](https://doi.org/10.1201/9781351046633)
- 90 Yadav, A.; Sahu, P.K.; Patel, K.S.; Lata, L.; Huber, M.; Corns, W.T.; Allen, J.; Martín-Ramos, P., Assessment of Arsenic and Heavy Metal Pollution in Chhattisgarh, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, **2020**, *24:1* Article Number: 05019008 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000478](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000478)
- 91 Yang, S.H.; Hanski, E.; Li, C.; Maier, W.D.; Huhma, H.; Mokrushin, A.V.; Latypov, R.; Lahaye, Y.; O'Brien, H.; Qu, W-J. Mantle source of the 2.44–2.50-Ga mantle plume-related magmatism in the Fennoscandian Shield: evidence from Os, Nd, and Sr isotope compositions of the Monchepluton and Kemi intrusions. *Miner Deposita* **2016**, *51*, 1055–1073. <https://doi.org/10.1007/s00126-016-0673-9>

Received: 15 Oct. 2022; Revised submission: 21 Oct. 2022; Accepted: 29 Oct. 2022

Copyright: © The Author(s) 2022. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License, which permits unrestricted, non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited. <http://www.scipubl.com/>

Możliwości zrównoważonego rozwoju dla obszaru Kiruna (N Szwecja)

Sustainable development opportunities for the Kiruna area (N Sweden)

Miłosz A. Huber¹

¹Department of Geology, Soil Sciences and Geoinformacy, Earth and Environmental Science Institute, Maria Curie-Skłodowska University, 20 -718 Lublin, 2cd Kraśnicka rd., Poland, e-mail: milosz.huber@mail.umcs.pl
<https://orcid.org/0000-0001-7583-6230>

Abstract: The town of Kiruna in northern Sweden beyond the Arctic Circle is home to an iron ore mine that has been in operation since the late 19th century and is planned for about a century more. The mine heavily affects the urban landscape as its heaps and other infrastructure heavily distort it. The scenario proposed by the author allows for a number of solutions that fit into sustainable development, allowing the mining plant to continue operating while modifying the city's landscape and restoring the utility of degraded areas. The proposed scenarios involve the re-exploitation of rock resources from heaps, the construction of renewable energy facilities, reforestation and the location of tourist infrastructure.

Keywords: sustainability; heap reclamation; renewable energy; re-exploitation.

Abstrakt: W miejscowości Kiruna w północnej Szwecji za Kołem Podbiegunowym znajduje się kopalnia rud żelaza, której eksploatacja trwa od końca XIX wieku i planowana jest jeszcze na około sto lat. Kopalnia ta mocno wpływa na krajobraz miejski gdyż jej hałdy i inna infrastruktura mocno go zniekształcają. Zaproponowany przez autora scenariusz pozwala na uzyskanie szeregu rozwiązań które wpisują się w równoważony rozwój, pozwalając na dalszą pracę zakładu górniczego a jednocześnie zmodyfikowanie krajobrazu miasta i przywrócenie użyteczności zdegradowanych terenów. Zaproponowane scenariusze dotyczą ponownej eksploatacji surowców skalnych z hałd, wybudowanie urządzeń do odnawialnych źródeł energii, zalesienie ich oraz ulokowanie infrastruktury turystycznej.

Słowa – klucze: zrównoważony rozwój; rekultywacja hałd; energia odnawialna; reeksploatacja.

1. Wstęp

Obszar Kiruna znajduje się w północnej Szwecji, w rejonie Koła Podbiegunowego. Jest to kompleks kopalni, kamieniołomu (obecnie nieczynnego) oraz hałd i innych urządzeń, które służą do celów pozyskiwania rud. Znajdują się one praktycznie w centrum miasta. Kiruna jest miastem które swój rozwój zawdzięcza kopalni. Z uwagi na charakter złoża kopalnia ta będzie

się rozszerzać, sukcesywnie zabierając przestrzeń miejską. Planuje się przeniesienie całego miasta na północny wschód od kopalni. Niezależnie od tych planów widoki górnicze zdominowały miasto (fig. 1,2). Wysokie na kilkadziesiąt metrów hałdy, wieże szybów kopalnianych oraz „złamany” szczyt górski” są dziełem zakładu górniczego. W niniejszym artykule przedstawiono projekt propozycji zmian które mogą wpłynąć na polepszenie krajobrazu miasta bez konieczności zamknięcia kopalni. Idea ta jest o tyle istotna iż w ostatnich czasach notuje się wzrost ruchu turystycznego z uwagi na położenie w Arktyce tego miasta.



Fig. 1. Widok na Kirunę oraz jej otoczenie: na pierwszym planie hałda, w oddali załamane wzgórze w którym znajduje się nieczynny kamieniołom.

2. Metodyka

Niniejsze opracowanie powstało w wyniku przeprowadzonego w 2022 roku rekonesansu terenowego a następnie pobraniu próbek z hałd. Próbki skał zostały przewiezione do Katedry Geologii, Gleboznawstwa i Geoinformacji w Instytucie Nauk o Ziemi i środowisku, gdzie zostały wykonane preparaty płytek cienkich a następnie skały te zostały zbadane z użyciem polaryzacyjnego mikroskopu optycznego Leica DM2500P oraz skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi SU6600 z przystawką EDS. Następnie opracowano propozycje rekultywacji omawianego terenu w oparciu o własne spostrzeżenia oraz dane z literatury. Wyniki tych badań przedstawiono poniżej.

3. Wyniki

Teren zakładu górniczego zajmuje obecnie około 30 km² powierzchni w pobliżu centrum miasta. W najbliższej przyszłości planowane jest rozszerzenie obszaru wyrobisk kopalni. W sąsiednich miejscowościach także otwierane są kamieniołomy. Obszar ten stanowi udokumentowane i perspektywiczne złoża metali, które planuje się eksploatować jeszcze wiele dziesięcioleci (fig. 2,3).



Fig. 2. Obraz satelitarny ukazujący miasto Kiruna oraz dominujące nad miastem hały zakładu górniczego.

3.1. Budowa geologiczna

Obszar Kiruna zlokalizowany jest w rejonie północno – zachodniej części tarczy bałtyckiej [1-5]. Podłoże stanowią skały archaiczne datowane na wiek 2.7Ga, o sekwencji magmowo – osadowej zmetamorfizowanej w facji zieleńcowej [6,7]. Wśród tych skał znajduje się formacja Kiirunavaara zbudowana z trachyandezytowych utworów porfirytowych wraz z ryodacytowymi piroklastykami, przykryte mieszaniną skał wulkanicznych (bazaltów, ryolitów) oraz osadowych (szarogłazów, fig 3). Na tej formacji znajdują się kwarcytami Hauki [8-11]. Ich wiek wynosi około 1.9Ga. Formacja złożowa zalega w omawianych skałach w formie ciała magnetytowego Sumaryczna wielkość złoża oceniana jest na 2Gt. Obok znajduje się mniejsze złożo Loussavaara oraz bogate w hematyt i fosforany złożo Per Gijer należące do formacji Matojärvi [12,13].

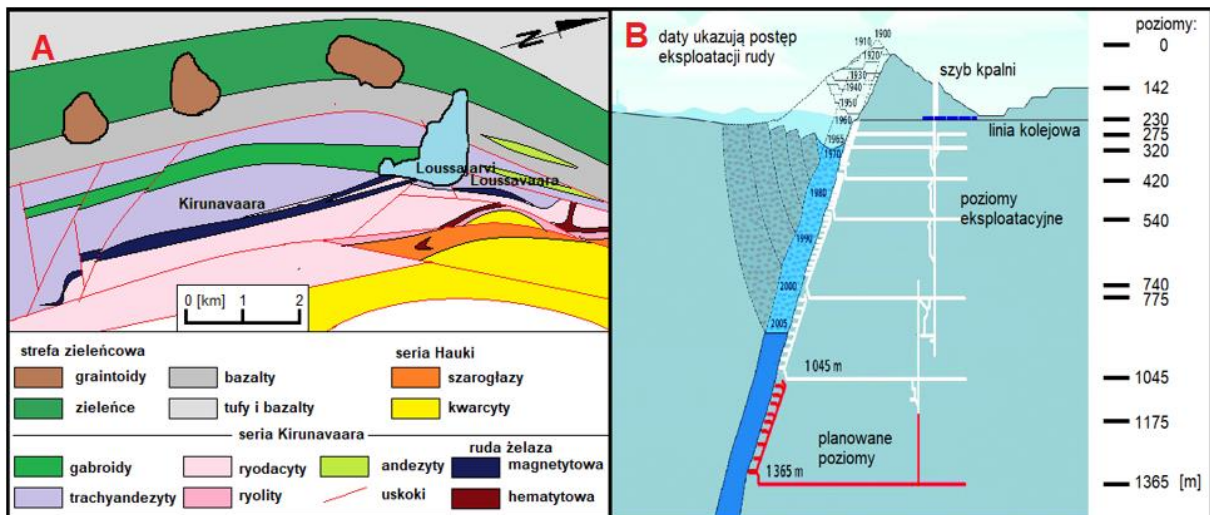


Fig. 3. Mapa geologiczna rejonu Kiruna (A, after [7], uproszczona przez autora), historyczna i planowana eksploatacja złoża (B, after [12,13], zmienione przez autora).

3.2. Stan zagospodarowania terenu kopalni

Na terenie kopalni znajdują się liczne hałdy zbudowane z wielu poziomów otaczające miasto od strony zachodniej. Obok znajdują się także osadniki poflotacyjne oraz wzgórze Loussavaara które obecnie jest wyłączone z eksploatacji. Tereny te górują nad krajobrazem miasta, powodując przytłaczający widok silnie przekształconego krajobrazu. W hałdzie znajdują się głównie skały takie jak wtórnie przeobrażone porfiryty oraz znajdujące się okruchy zieleńców i rudy żelaza. Rudy te występują zarówno w formie masywnej jak i w postaci impregnacji w porfirytach (fig. 4).

3.3. Propozycje rekultywacji terenu kopalni

Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość życia mieszkańców jest krajobraz, w którym obecnie dominują hałdy i infrastruktura zakładów górniczych. W celu zaprowadzenia zmian w krajobrazie miasta zaproponowano kilka poniższych scenariuszy działania, znanych z różnych miejsc górniczych, pogrupowanych tematycznie. Istotnym działaniem może być podjęcie się niwelacji omawianych hałd poprzez powtórne zastosowanie znajdującego się tam materiału. Budujące hałdy porfiryty są skałami które mogą być używane jako tłużeń do budowy dróg, mostów oraz innego rodzaju umocnień w terenie. Ponowna eksploatacja surowców skalnych znajdujących się w omawianych hałdach może być źródłem dodatkowego dochodu dla miasta i kopalni, przyczyni się także do niwelacji omawianych hałd oraz może przeciwdziałać budowie kamieniołomów w celu pozyskiwania tłuźnia skalnego w innych miejscach Szwecji [14,15].

Górujące nad miastem wzgórze hałd można wykorzystać także jako miejsca pozyskiwania energii odnawialnej. Bezpośrednio na hałdach można umieścić wiatraki oraz ogniwa fotowoltaiczne [16]. Kolejnym rozwiązaniem może być zastosowanie mechanizmów gromadzenia energii, które mogą być umieszczone w starych wyrobiskach a następnie służyć do jej oddawania, szczególnie w okresie zimowym. Ciekawym zastosowaniem hałdy może być także pokrycie jej lustrami kierującymi światło na miasto, może to mieć istotny wpływ na warunki mikroklimatu szczególnie w okresie jesienno-wiosennym [17]. Jest to szczególnie istotne, gdyż Kiruna znajduje się po za kołem podbiegunowym w arktycznej części Szwecji i

dodatkowe oświetlenie poprzez skupienie promieni słonecznych może pozytywnie wpłynąć na mieszkańców. Alternatywą może być doświetlenie upraw przeznaczonych do celów mieszkańców lub zgromadzenie ciepła i przetworzenie go w magazynie energii na okres gdy w mieście jest odczuwalna zawyżona jej potrzeba. Przykładem może być zbiornik ciepła na bazie uwodnionego octanu lub tiosiarczynu sodu, który w dni słoneczne mógłby być nagrzewany a w dni chłodne oddawałby ciepło poprzez energię krystalizacji [18].

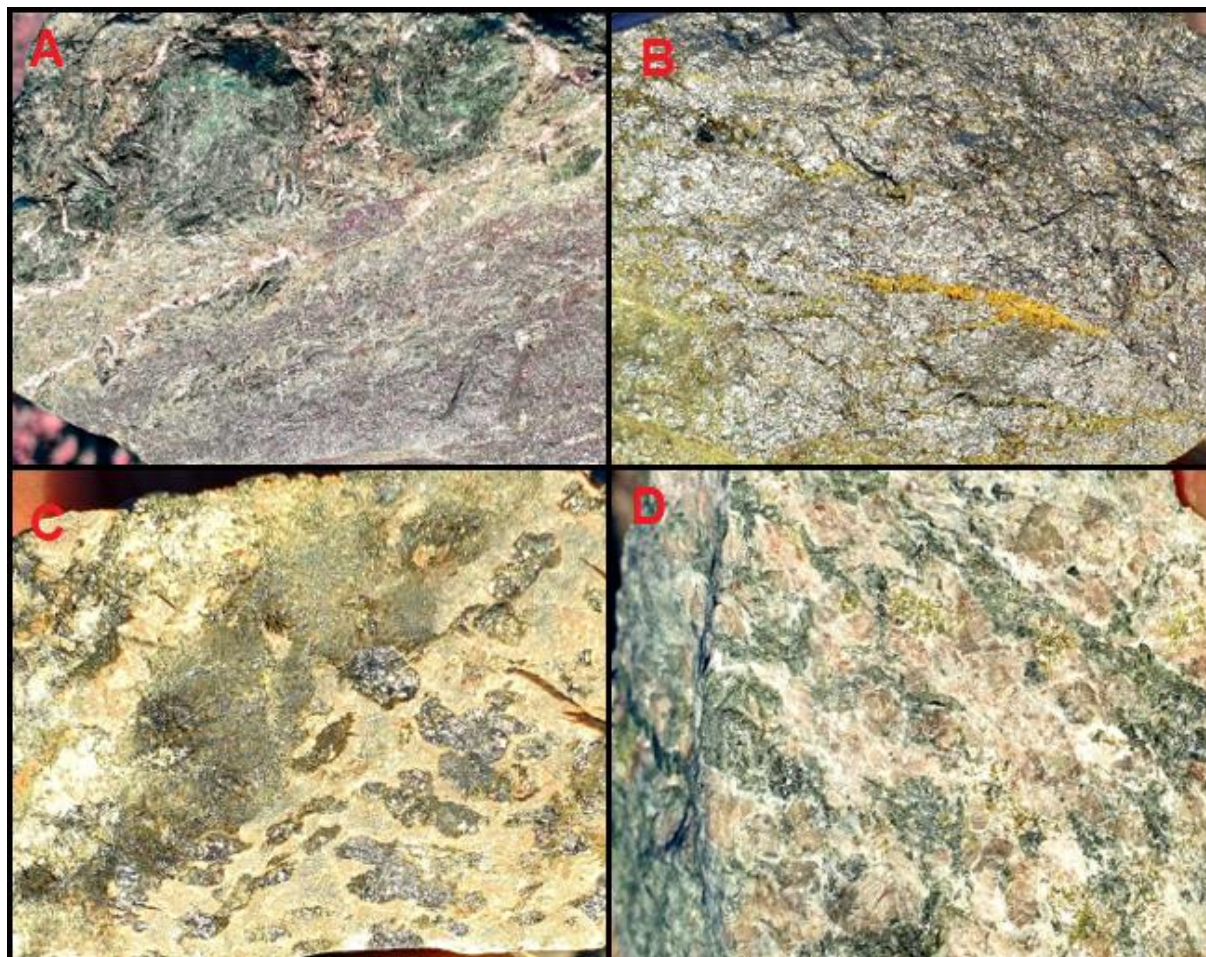


Fig. 4. Przykłady skał z hałdy w Kiruna: zieleniec (A), masywna ruda magnetytowa (B), porfiryrt okruszczowany magnetytem (C), porfiryrt (D).

Zalesienie hałd to kolejna propozycja umożliwiająca zmiany krajobrazu miejskiego. Istniejące w sąsiedztwie miasta hałdy można wyprofilować tak aby zasłaniały pozostałe obszary górnicze, jednocześnie osłaniając miasto przed wiatrem. Na stabilnych stokach hałd od strony miasta można posadzić drzewa, które będą miały na celu wpływ na krajobraz Kiruny. Zalesienie hałd zmieni ich wygląd, szczególnie w okresie wiosenno – letnim. Obszary leśne mogą pochłaniać pył oraz zanieczyszczenia [19- 22].

Dalszym krokiem może być poszerzenie infrastruktury sportowej istniejącej w mieście na dawnych terenach górniczych [23]. W trakcie pobytu autora latem 2022 zauważono iż nieczynne stare drogi okalające hałdy służą mieszkańcom za ścieżki biegowe. Niewielkie usprawnienia tych dróg poprzez wybudowanie infrastruktury pozwalającej na prowadzenie ćwiczeń na świeżym powietrzu, odpoczynek czy umożliwiające poruszanie się na rowerze a

zima na nartach mogły by znacznie wpłynąć na samopoczucie mieszkańców [24-27]. Ponadto umożliwią one poszerzenie oferty turystycznej Kiruna, która znajduje się w pobliżu Parku Narodowego Abisko [28-31].



Fig.. 5. Przykłady rekultywacji hałd: Park na terenie hałdy w Jaworznie (A, after [25,26]), Stok narciarski Góra Kamieńska w Bełchatowie (B, after [27]), Panele fotowoltaiczne w Narvik (C, after [16]), Lustra doświetlające miasto Rjukan w Norwegii (D, after [17]).

4. Dyskusja

Wykorzystanie hałd w celu ponownego użycia materiału w nich zawartego jest możliwe do częściowego zrealizowania. Nie cała powierzchnia hałd może być użyta gdyż zakład górniczy Kiruna jest czynny i będzie potrzebował miejsca lokacji odpadów a ponadto część hałd jest niestabilna z uwagi na osiadania gruntu nad chodnikami kopalnianymi. Występujące domieszki tlenków żelaza, nie są groźne dla środowiska w takim stopniu jak rudy metali kolorowych i innych substancji. Stąd też stosowanie omawianych skał nie powinno być obciążające dla środowiska [14, 32-34]. Wykorzystanie omawianych hałd jako źródła energii odnawialnej oraz jej magazynowanie może być bardzo istotne z punktu widzenia niezależności energetycznej i dywersyfikacji źródeł energii. Ponadto wpisuje się to w obecnie nakreślony trend wzbogacania udziału energii ze źródeł odnawialnych dla Europy. Zastosowanie paneli słonecznych w Arktyce jest obecnie powszechne, przykładem mogą być domy w Grenlandii czy zaobserwowane przez autora takie ogniwa w północnej Finlandii i Norwegii. Kiruna znajduje się bardziej na południe od tych miejsc, zatem tam te ogniwa będą miały większą sprawność, natomiast stosowanie turbin wiatrowych będzie jeszcze mocniejszym źródłem energii, gdyż

wiatry w omawianym regionie są zjawiskiem powszechnymi i nie ustają nawet zimą. Ważnym elementem jest także magazynowanie energii, które można uzyskać przez zachowanie wind w zużytych chodnikach kopalnianych, które będą mogły mieć nowe zastosowanie. W marę wzrostu zainteresowania technikami odnawialnymi ilość pomysłów i innowacji w tej dziedzinie rośnie, zatem można przypuszczać, że tych możliwości, dostosowanych do klimatu Kiruny może być znacznie więcej. Zastosowanie zalesienia hałd oraz zorganizowanie ścieżek aktywnego wypoczynku może być jednym z najważniejszych priorytetowych działań, gdyż mieszkańcy już w chwili obecnej są zainteresowani tego typu aktywnością a w przyszłości pozwoli to na poszerzenie wachlarza aktywnych form wypoczynku także dla turystów. Warto także nadmienić iż stok narciarski istniejący w rejonie Loussavaara wymaga modernizacji i można by go dostosować także do oferty całorocznej, układając np. igielit. Podsumowując należy stwierdzić iż puki zakład górniczy będzie czynny, jego pełna rekultywacja nie będzie możliwa ale można ją stosować częściowo, tak aby zmniejszyć oddziaływanie na przyrodę i krajobraz miasta istnienie tego zakładu. Wyżej wymienione scenariusze są możliwe do zastosowania także jako hybryda wszystkich podanych powyżej pomysłów. Stopień realizacji każdego z nich może być oparty o konsultacje społeczne i specyfikę regionu.

5. Wnioski

Omawiany teren znajduje się z dużym złożu ród żelaza, które z uwagi na wielość jest planowane do dalszej eksploatacji jeszcze wiele dziesięcioleci. Jednak z uwagi na przytłaczającą wielkość zakładu górniczego w stosunku do miasta w którym się on znajduje warto zastanowić się nad scenariuszem częściowej rekultywacji tego terenu, który nie jest bezpośrednio eksploatowany. Wpłyne to pozytywnie na krajobraz miasta i samopoczucie mieszkańców. Zaproponowane scenariusze dotyczą ponownej eksploatacji hałd z wykorzystaniem ich materiału skalnego. Zbudowanie na ich powierzchni i w środku urządzeń na potrzeby odnawialnych źródeł pozyskiwania i magazynowania energii może być rozwiązaniem praktycznym i potrzebnym. Zalesienie ich i wpłyne pozytywnie na krajobraz miasta a zamontowanie infrastruktury turystycznej poszerzy wachlarz usług dla mieszkańców i gości.

6. Literatura

- 1 Baluev, A.S.; Zhuravlev, V.A.; Przhivalgovskii, E.S. New Data on the Structure of the Central Part of the White Sea Paleorift System. *Doklady Earth Sciences* **2009**, 427A:6, 891–896. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09060014>.
- 2 Bayanova, T.; Korchagin, A.; Mitrofanov, A.; Serov, P.; Ekimova, N.; Nitkina, E.; Kamensky, I.; Elizarov, D.; Huber, M. Long-Lived Mantle Plume and Polyphase Evolution of Palaeoproterozoic PGE Intrusions in the Fennoscandian Shield. *Minerals* **2019**, 9, 59, 3-22.
- 3 Bayanova, T.B.; Kunakkuzin, E.L.; Serov, P.A.; Fedotov, D.A.; Borisenko, E.S.; Elizarov, D.V.; Larionov, A.V. Precise U-Pb (Id-Tims) and SHRIMP-II ages on single zircon and Nd-Sr signatures from Achaean TTG and high aluminum gneiss on the Fennoscandian Shield. in: *32nd Nordic Geological Winter Meeting*, Helsinki, Finland, **2018**, 13–15. I., 172.
- 4 Bayanova, T.B.; Ludden, J.; Mitrofanov, F.P. Timing and duration of Palaeoproterozoic events producing ore-bearing layered intrusions of the Baltic Shield: metallogenic, petrological and geodynamic implications, in: Reddy, S .M, Mazumder, R ., Evans, D .A .D . & Collins, A.S . (eds) . *Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution* **2009**, 323,165-198 .
- 5 Ernst, R.; Bleeker, W. Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes, significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to the Present. *Canadian Journal of Earth Sciences* **2010**, 47, 695–739.

- 6 Martinsson, O., Geology and metallogeny of the northern Norrbotten Fe-Cu-Au province. [in] Allen, R.L.; Martinsson, O.; Weihed, P. (eds.). Svecofennian Ore-Forming Environments: Volcanic-associated Zn-Cu-Au-Ag, intrusion associated Cu-Au, sediment-hosted Pb-Zn, and magnetiteapatite deposits in northern Sweden. *Soc. Econ. Geol., Guidebooks Series* **2004**, 33, 131-148.
- 7 Martinsson, O., Nordstrand, J., Rutanen, H., Scott, A., In O. Martinsson and C. Wanhainen (eds.), Fe oxide and Cu-Au deposits in the northern Norrbotten ore district. *Geol. Surv. Sweden, Excursion Guidebook SWE5*, **2013**, 44-53.
- 8 Bozhko, N.A. Intraplate Basic-Ultrabasic Magmatism Through Time in Terms of Supercontinental Cyclicity. *Moscow University Geology Bulletin* **2010**, 65:3, 161–176. <https://doi.org/10.3103/S0145875210030026>
- 9 Bozhko, N.A. On Two Types of Supercontinental Cyclicity. *Moscow University Geology Bulletin* **2011**, 66:5, 313–322. <https://doi.org/10.3103/S0145875211050036>
- 10 Bozhko, N.A. Supercontinental Cyclicity in the Earth's Evolution. *Moscow University Geology Bulletin* **2009**, 64:2, 75–91. <https://doi.org/10.3103/S0145875209020021>
- 11 Glebovitsky, V.A. *Early Precambrian of the Baltic Shield* Nauka St Petersburg, **2005**, 710.
- 12 Jonsson, E.; Troll, V.R.; Hogdah, K.; Harris, C.; Weis, F.; Nilsson, K.P.; Skelton, A. Magmatic origin of giant 'Kiruna-type' apatite-iron-oxide ores in Central Sweden. *Nature Scientific Reports*, **2013**, 3, 1644. <https://doi.org/10.1038/srep01644>
- 13 Ptak, M.; Podolska, M.; Podolski, R. Challenges for science: the exploitation of deep deposits. XVIII Conference of PhD Students and Young Scientists E3S Web of Conferences **2018**, 71, 00008, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187100008>
- 13 Troll, V.R.; Weis, F.A.; Jonsson, E.; Andersson, U.B.; Majidi, S.A.; Högdahl, K.; Harris, C.; Millet, M.A.; Chinnasamy, S.S.; Kooijman, E.; Nilsson, K.P. Global Fe–O isotope correlation reveals magmatic origin of Kiruna-type apatite-iron-oxide ores. *Nature Communications*, **2019**, 10, 1712. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09244-4>
- 14 Ignatyeva, M.; Yurak, V.; Pustokhina, N. Recultivation of Post-Mining Disturbed Land: Review of Content and Comparative Law and Feasibility Study. *Resources*, **2020**, 9, 73; <https://www.doi.org/10.3390/resources9060073>
- 15 Jończy, I.; Huber, M.; Lata, L. Vitriified metallurgical wastes after zinc and lead production from the dump in Ruda Śląska in the aspect of mineralogical and chemical studies. *Mineral Resources Management*, **2014**; 30:1, 161-174.
- 16 Kleven, Ø.; H. Persson, H.; Good, C.; Sulkowski, W.; Boström, T. Solar Cells above the Arctic Circle – A Comparison Between a Two-Axis Tracking System and Simulations. 2009, <https://www.researchgate.net/publication/267382605> visited by 1.10.2022.
- 17 Rjukan - a dark town illuminated by mirrors. *Virtual Poland*, **2015**, <https://turystyka.wp.pl/rjukan-mroczne-miasteczko-ktore-rozswietlono-za-pomoca-luster-6044269850788481a> visited by 1.10.2022. (in Polish)
- 18 Huber, M.; Rusek, A.; Menshakova, M.; Zhigunova, G.; Chmiel, S.; Iakovleva, O. Possibilities of Sustainable Development including Improvement in Air Quality for the City of Murmansk- Examples of Best Practice from Scandinavia, *Climate*, **2022**, 10:2, 15; <https://doi.org/10.3390/cli10020015>
- 19 Aamlid, D.; Venn, K. Methods of monitoring the effects of air pollution on forest and vegetation of eastern Finnmark, Norway, *Norw. J. Agr. Sci.* **1993**, 7, 71-87,
- 20 Aune, S.; Hofgaard, A.; Söderström L. Contrasting climate- and land-use-driven tree encroachment patterns of subarctic tundra in northern Norway and the Kola Peninsula. *Can. J. For. Res.* **2011**, 41, 437–449. <https://doi.org/10.1139/X10-086>
- 21 Huber, M.; Iakovleva, O.; Tourism, Scientific, and Didactic Potential of the Ultrabasic-Alkaline Intrusion in Afrikanda with Perovskite Mineral (Kola Peninsula, N Russia) and of the Related Built Heritage. *Heritage*, **2021**, 4, 3892-3907. <https://doi.org/10.3390/heritage4040213>
- 22 Huber, M.; Zhigunova, G.; Menshakova, M.; Iakovleva, O.; Karimova, M. Geoheritage of the Monchegorsk Igneous Layered Paleoproterozoic Intrusion (Kola Peninsula, Arctic Russia): Evaluation and Geotourism Opportunities, *Heritage*, **2021**, 4, 3583–3610. <https://doi.org/10.3390/heritage4040198>

- 23 Gürer A.; Gürer Ö.F.; Sangu, E. Compound geotourism and mine tourism potentiality of Soma region, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* **2019**, *12*, 734 <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4927-6>
- 24 Pactwa, K.; Woźniak, J.; Dudek, M. Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, **2020**, *270*, 117493.
- 25 'English Park' -area of the former Pilsudski dump. *Jaworzno Government materials*, <https://um.jaworzno.pl>. visited by 1.10.2020. (in Polish)
- 26 Dump replace in Park. <https://mckis.jaworzno.pl/halda-zamieniona-w-park/> visited by 1.10.2022. (in Polish)
- 27 Kamiensk Mountain -Slope in the center of Poland. www.gorakamiensk.eu visited by 1.10.2022. (in Polish)
- 28 Johansson, P.; Lauri, L.S.; Voytekhovsky, Y.L. *Barents tour for geotourists*. Kolarctic, Rovaniemi Finland Publishing House, **2014**.
- 29 Gravis, I.; Németh, K.; Twemlow, C.; Németh, B. The Case for Community-Led Geoheritage and Geoconservation Ventures in Māngere, South Auckland, and Central Otago, New Zealand, *Geoheritage* **2020**, *12*, 19. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00449-4>
- 30 Hose, T.A. 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage*, **2012**, *4*, 7–24 <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0052-y>
- 31 Kiruna Visitor center: <https://kirunalapland.se/aktiviteter/lkabs-visitor-centre/> Accessed 02.10.2022
- 32 Knapp, S.; Klotz, S.; Gerth, A. Sustainable recultivation and wastewater treatment in Vietnamese coal mining; Nachhaltige Rekultivierung und Behandlung von Abwaessern im vietnamesischen Steinkohlenbergbau. *World of Mining - Surface and Underground*. **2012**, *64*, 253-261.
- 33 Woodard, C.; *Industrial Waste Treatment Handbook. Second Edition, Butterworth-Heinemann, 2005, 480.*
- 34 Dhal, B.; Das, N.N.; Thatoi, H.N.; Pandey, B.D.; Characterizing toxic Cr(VI) contamination in chromite mine overburden dump and its bacterial remediation, *Journal of Hazardous Materials*, **2013**, *260*, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.050>.

Received: 15 Oct. 2022; **Revised submission:** 21 Oct. 2022; **Accepted:** 29 Oct. 2022

Copyright: © The Author(s) 2022. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License, which permits unrestricted, non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
<http://www.scipubl.com/>
