INŻYNIERIA MINERALNA

CZASOPISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZERÓBKI KOPALIN

2(52) 2023

NR 2(52) 2023, LIPIEC – GRUDZIEŃ CZ. 2

PL ISSN 1640 - 4920

JOURNAL OF THE POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY

NO. 2(52) 2023, JULY – DECEMBER VOL. 2

INŻYNIERIA MINERALNA

Czasopismo Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin

JOURNAL OF THE POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY

INŻYNIERIA MINERALNA JEST DOSTĘPNA (OPEN ACCESS) NA STRONIE WYDAWCY | WHOLE ISSUES OF INZYNIERIA MINERALNA ARE AVAILABLE (OPEN ACCESS) ON PUBLISHER WEBSITE: POLSKA WWW.POTOPK.COM.PL/ARCHIWUM
ENGLISH WWW.POTOPK.COM.PL/AN_ARCHIWUM
www.inzynieriamineralna.com.pl

INŻYNIERIA MINERALNA JEST INDEKSOWANA I ABSTRAKTOWANA | INŻYNIERIA MINERALNA IS INDEXED AND ABSTRACTED:
SCOPUS (ELSEVIER), WEB OF SCIENCE, MASTER JOURNAL LIST – EMERGING SOURCES CITATION INDEX (CLARIVATE ANALITICS), POL-index, EBESCO, BAZTECH, Chemical Abstracts, Реферативный Журнал.
Inżynieria Mineralna is a member of CROSSREF.

ADRES REDAKCJI | CORRESPONDENCE ADDRESS:
POLSKIE TOWARZYSTWO PRZERÓBKI KOPALIN | POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY
MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKÓW
MAIL: im@agh.edu.pl, inzynieria_mineralna@agh.edu.pl, tora@agh.edu.pl

SKŁAD/ŁAMANIE/UKŁAD TYPOGRAFICZNY/OBSŁUGA: NOWY WSPANIAŁY HOLDING (NWH)
KONTAKT: C@NWH.PL
DRUK: DRUKARNIA TYPOGRAFIA — WWW.TYPOGRAFIA.COM.PL
KONTAKT: TYPOGRAFIA@TYPOGRAFIA.COM.PL
NAKŁAD: 50 egz.

Rozkład ciśnienia w ośrodku porowatym podczas zjawiska kolmatacji przebiegającego zgodnie z pierwszą kinetyką bez linearyzacji wyrażenia określającego porowatość rozważanego ośrodka w funkcji położenia i czasu

Wiktor FILIPEK[1], Krzysztof BRODA[2]

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami; ORCID: 0000-0001-5472-8214; ResearcherID: W-5254-2018; Scopus: 36185413000; PBN: 5e70922b878c28a047391056

[2] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami; ORCID: 0000-0001-8218-9350; ResearcherID: D-2256-2018; Scopus: 55658644400; PBN: 5e70922b878c28a047391048

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-50

Submission date: 01-11-2023 | Review date: 23-11-2023

Abstrakt

Zjawisko kolmatacji występuje w przyrodzie wszędzie tam, gdzie dochodzi w ośrodkach porowatych do przepływów cieczy niosących zawieszone cząstki stałe. Nawet „najczystsza" woda dopływająca do studni po pewnym czasie spowoduje jej zakolmatowanie, a tym samym spadek jej wydajności, co jest zjawiskiem negatywnym.

Badania prowadzone w naszym ośrodku od lat 60-tych ubiegłego wieku [1,4-14] doprowadziły do opracowania matematycznego opisu zjawiska kolmatacji [4-8,13,14] oraz przeprowadzenia szeregu eksperymentów ją weryfikujących [9-14]. Uzyskane wyniki wykorzystano również podczas prób uszczelnienia górotworu wokół wyrobiska górniczego [12].

W niniejszym artykule podjęto próbę określenia obszaru K w przypadku przebiegu zjawiska kolmatacji zachodzącego zgodnie z kinetyką pierwszą, oraz podania zależności opisujących rozkład ciśnienia h(x,t) dla przepływu bez kolmatacji i z kolmatacją bez linearyzacji wyrażenia $\varepsilon(x,t)^{-3}$ w otoczeniu ε_o gdzie ε określa porowatość ośrodka w funkcji położenia i czasu.

Określenie obszaru K pozwala nam na jednoznaczne wyprowadzenie dokładnego rozkładu ciśnienia h(x,t) podczas przepływu z kolmatacją przez ośrodek porowaty bez linearyzacji, a następnie porównania rozwiązań układu równań kolmatacji metodą linearyzacji i metodą dokładną przy wykorzystaniu bezwymiarowej postaci funkcji ξ.

W trakcie prowadzenia badań eksperymentalnych próba dopasowania rzeczywistego zjawiska do opracowanego modelu matematycznego obarczona była dużą niepewnością wynikającą prawdopodobnie z zastosowania linearyzacji członu $\varepsilon(x,t)^{-3}$.

W artykule autorzy wyjaśniają co generuje odstępstwo metody przybliżonej od dokładnego rozwiązania oraz zwracają uwagę, że dokładne rozwiązanie bardziej oddaje sens fizyczny matematycznego modelu opisu zjawiska oraz zdefiniowanych współczynników kolmatacji a w szczególności parametru α_o.

Słowa kluczowe: *filtracja, kolmatacja, przepływ z wymianą masy i pędu*

Wstęp

Ze zjawiskiem kolmatacji w przyrodzie mamy do czynienia tam, gdzie występuje przepływ cieczy niosących zawieszone cząstki stałe przez ośrodki porowate. Zjawisko to może mieć znaczenie negatywne, jak w przypadku dopływu wody do studni, powodując zakolmatowanie, a tym samym spadek jej wydajności. Natomiast zależeć nam będzie na jak najintensywniejszym jego przebiegu wszędzie tam gdzie potrzebujemy ograniczyć albo wręcz wyeliminować wodoprzepuszczalność ośrodka porowatego, np. przy uszczelnianiu wałów przeciwpowodziowych, tam czy górotworu przy pracach podziemnych ograniczając dopływ wód do wyrobisk.

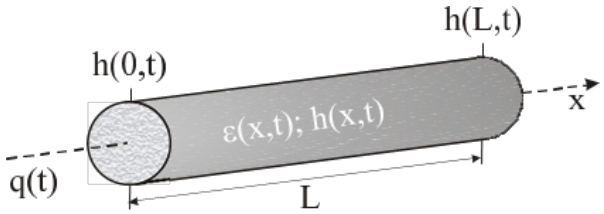
Widać więc, że znajomość mechanizmów przebiegu tego zjawiska jak i jego opisu teoretycznego i praktycznego wraz z opracowaniem metod określania parametrów odpowiedzialnych za jego przebieg ma duże znacznie.

Do badań zjawiska kolmatacji [2,3] nasz ośrodek włączył się w latach 60-tych ubiegłego wieku [1,4-14]. Prowadzone w naszym ośrodku badania doprowadziły do powstania teorii kolmatacji [4-8,13,14] oraz przeprowadzenia szeregu eksperymentów ją weryfikujących [9-14]. Zdobyte wówczas doświadczenie wykorzystano również podczas prób uszczelnienia górotworu wokół wyrobiska górniczego [12].

Zjawisko kolmatacji może według teorii kolmatacji przebiegać w różny sposób, opisany trzema kinetykami procesu kolmatacji [5,14]. Niestety w trakcie prowadzenia eksperymentu, czy badań „in situ" bardzo trudno jest określić, według której kinetyki aktualnie przebiega zjawisko kolmatacji. Konieczne więc jest posiadanie metody pozwalającej na określenie w czasie i przestrzeni obszaru K zachodzenia zjawiska dla poszczególnych kinetyk.

W niniejszym artykule autorzy skoncentrowali się na określeniu obszaru K w przypadku zjawiska kolmatacji przebiegającego zgodnie z kinetyką pierwszą, oraz podaniu zależności opisujących rozkład ciśnienia h(x,t) dla przepływu bez kolmatacji i z kolmatacją bez linearyzacji wyrażenia $\varepsilon(x,t)^{-3}$ w otoczeniu ε_o gdzie ε określa porowatość ośrodka w funkcji położenia i czasu.

Rozważania nasze przeprowadzono dla ośrodka jednorodnego charakteryzującego się stałością powierzchni właściwej $\alpha(x) = \alpha$ i stałością współczynnika kolmatacji $\alpha_0(x) = \alpha_0$



Rys. 1. Model ośrodka porowatego przyjętego do rozważań przy przepływie z kolmatacją
Fig. 1. The model of the porous medium adopted for considerations in the case of flow with colmatage

$\forall x \in [0,L]$ $\alpha(x)=\alpha$ – powierzchnia właściwa
$\forall x \in [0,L]$ $\alpha_o(x)=\alpha_o$ – współczynnik kolmatacji

Wielkość L opisuje maksymalny liniowy zasięg zjawiska kolmatacji zachodzącego w jednorodnym ośrodku porowatym.

Na Rys. 1 przedstawiono taki wyidealizowany ośrodek przyjęty w naszych rozważaniach gdzie:
q(t) – prędkość filtracji;
ε(x,t) – porowatość ośrodka;
h(x,t) – rozkład ciśnienia;
h(0,t) – ciśnienie na początku rozpatrywanego ośrodka;
h(L,t) – ciśnienie na końcu rozpatrywanego ośrodka;
L – długość ośrodka porowatego.

Według teorii kolmatacji [14] ten przypadek opisany jest układem trzech równań różniczkowych cząstkowych: bilansu transportu (1), kinetyki procesu kolmatacji (2) i ruchu (3)[14].

$$\begin{cases} q(t)\dfrac{\partial N(x,t)}{\partial x} - \dfrac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial t} = 0 \text{ - równanie bilasu transportu} & (1) \\ \dfrac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial t} = -\alpha_o q(t) N(x,t) \text{ - równanie kinetyki procesu} & (2) \\ \dfrac{\partial h(x,t)}{\partial x} = -2a\dfrac{\nu}{g}\dfrac{\alpha^2}{\varepsilon^3(x.t)} q(t) \quad \text{ - równanie ruchu} & (3) \end{cases}$$

gdzie:
N(x,t) – koncentracja unoszonych cząstek zawiesiny;
a – współczynnik odstępstwa [7,9];
ν – współczynnik lepkości kinematycznej;
g – przyspieszenie grawitacyjne.

Wyprowadzenie dokładnego rozkładu ciśnienia h(x,t) podczas przepływu z kolmatacją przez ośrodek porowaty – bez linearyzacji

W celu wyznaczenia rozkładu ciśnienia h(x,t), musimy najpierw z równania (1) i (2) wyliczyć funkcję ε(x,t). W związku z tym przekształćmy równanie kinetyki (2) procesu kolmatacji do poniższej postaci (4) zakładając oczywiście, że $\alpha_0 q(t) \neq 0$

$$N(x,t) = -\frac{1}{\alpha_o q(t)}\frac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial t} \tag{4}$$

i wprowadźmy go do równania bilansu transportu (1). Po prostych przekształceniach otrzymamy:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon(x,t)}{\partial t \partial x} + \alpha_o \frac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial t} = 0 \tag{5}$$

Powyższe równanie całkujemy względem czasu t otrzymując:

$$\frac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial x} + \alpha_o \varepsilon(x,t) = \phi(x) \tag{6}$$

Nieznaną funkcję φ(x) znajdujemy w oparciu o warunek początkowy (7)

$$\forall x \in [0,L] \quad \varepsilon(x,0)=\varepsilon_o \tag{7}$$

dostając zależność (8)

$$\forall x \in [0,L] \quad \phi(x)=\alpha_o\, \varepsilon_o, \tag{8}$$

która wstawiona do równania (6) po prostych przekształceniach pozwala zapisać go w poniższej postaci:

$$\forall x \in [0,L]\ \forall t \in R^+\ \frac{\partial \varepsilon(x,t)}{\partial x} + \alpha_o(\varepsilon(x,t) - \varepsilon_o) = 0 \tag{9}$$

Otrzymane równanie różniczkowe rzędu pierwszego można przedstawić w postaci (10)

$$\frac{d\varepsilon(x,t)}{\varepsilon(x,t)-\varepsilon_o} = -\alpha_o dx \tag{10}$$

lub (11)

$$\varepsilon(x,t)-\varepsilon_o=0 \tag{11}$$

Rozważmy najpierw zależność (11), z której wynika, że

$$\forall x \in [0,L]\ \forall t \in R^+ \quad \varepsilon(x,t)=\varepsilon_o \tag{12}$$

Natomiast z równania bilansu transportu (1) i warunku $\alpha_o q(t) \neq 0$ otrzymujemy

$$\forall x \in [0,L]\ \forall t \in R^+ \quad \varepsilon(x,t)=\varepsilon_o \Rightarrow N(x,t)=\text{const} \tag{13}$$

Ostatecznie uwzględniając równanie kinetyki procesu (2) dochodzimy do spostrzeżenia, że

$$\forall x \in [0,L]\ \forall t \in R^+ \quad \varepsilon(x,t)=\varepsilon_o \Rightarrow N(x,t)=0 \tag{14}$$

Otrzymana zależności opisuje więc proces przepływu czystej wody przez ośrodek porowaty.

Zajmiemy się teraz członem (10) przy założeniu, że $\varepsilon(x,t) - \varepsilon_0 \neq 0$, z którego wynika, że $t \neq 0$. Po scałkowaniu równania (10) otrzymujemy zależność (15)

$$\ln|\varepsilon(x,t)-\varepsilon_o| = -\alpha_o x + \psi(t), \tag{15}$$

która po prostych przekształceniach i podstawieniu $\varphi(t) = e^{\psi(t)}$ doprowadza do wyniku w postaci równania (16).

$$\varepsilon(x,t)=\varepsilon_o+\phi(t)e^{-\alpha_o x} \tag{16}$$

Musimy teraz określić zależność funkcji φ od czasu - φ(t). Skorzystamy z równania kinetyki procesu (2) i rozwiążemy je dla przypadku, gdy x = 0. Mamy:

$$[\partial\varepsilon(0,t)]/\partial t=-\alpha_o\, q(t)N(0,t) \tag{17}$$

Ponieważ do rozważanego obszaru wpływa zawiesina o stałej w czasie koncentracji możemy zapisać warunek brzegowy w postaci:

$$\forall t\in R^+ \quad N(0,t)=n \tag{18}$$

Rozwiązanie ogólne równania (17) z warunkiem brzegowym (18) opisane jest więc poniższą zależnością:

$$\varepsilon(0,t)=-n\alpha_o \int q(t)dt+C \tag{19}$$

Z warunku początkowego (7) wynika, że $C = \varepsilon_o$ czyli

$$\varepsilon(0,t)=\varepsilon_o-n\alpha_o \int q(t)dt \tag{20}$$

Stąd po prostych przekształceniach otrzymujemy

$$\phi(t)=-n\alpha_o \int q(t)dt \tag{21}$$

Ostatecznie możemy przedstawić rozwiązanie równania (16) w postaci

$$\forall x\in R^+\ \forall t\in R^+-\{0\}:\alpha_0\, q(t)\neq 0 \quad \varepsilon(x,t)=\varepsilon_o-n\alpha_o\, e^{-\alpha_0 x})\int q(t)dt \tag{22}$$

przedstawiającej rozkład porowatości ośrodka przy przepływie z kolmatacją, realizowanym przy przyjętych założeniach.

Pozostaje nam teraz tylko sprawa wyjaśnienia, co się dzieje, jeżeli t = 0. Jak widać równanie (22) przechodzi w postać (14), co jest przecież oczywiste, bo w chwili zerowej proces kolmatacji spełniający warunek początkowy (7) nie może zachodzić.

Podsumowując teraz nasze dotychczasowe rozważania, poszukiwaną funkcję ε(x,t) ostatecznie możemy przedstawić jak niżej:

$$\forall x \in [0,L]\ \forall t \in R^+: \alpha_o q(t) \neq 0 \quad \varepsilon(x,t) = \begin{cases} \varepsilon_o & \text{- proces bez kolmatacji} \quad (23) \\ \varepsilon_o - n\alpha_o e^{-\alpha_o x}\int q(t)dt & \text{- proces z kolmatacją} \quad (24) \end{cases}$$

Zajmiemy się teraz określeniem obszaru K zachodzenia zjawiska. Z równania (23) wynika, że obszar K dla przepływów bez kolmatacji można przedstawić w postaci

$$\kappa=\{(x,t):x\in[0,L],t\in R^+\}, \tag{25}$$

czyli cały obszar objęty przepływem.

Określenie obszaru K dla przepływu z kolmatacją jest zadaniem skomplikowanym z uwagi na trudność wyznaczenia w sposób bezpośredni czasu zakończenia przebiegu zjawiska. Zatem przyjęliśmy metodę pośrednią. Proces kolmatacji zostanie zakończony jeżeli wszystkie pory ośrodka ulegną wypełnieniu, czyli ε(x,t)=0. W oparciu o to, z równania (24) wynika, że

$$\int_0^{t_{max}} q(t)dt\leq[\varepsilon_o/(n\alpha_o)] \tag{26}$$

a w konsekwencji obszar K możemy przedstawić w postaci

$$\kappa=\{(x,t):x\in[0,L],t\in[0,t\int_0^{t_{max}} q(t)dt\leq\varepsilon_o/(n\alpha_{o_{max}}) \tag{27}$$

Przejdźmy teraz do wyznaczenia poszukiwanego rozkładu ciśnienia. Wprowadźmy oznaczenie

$$\Omega=2a\ (\nu/g)\ \alpha^2 \tag{28}$$

i wstawmy je do równania ruchu (3), które w konsekwencji przyjmie postać:

$$\frac{\partial h(x,t)}{\partial x} = -\Omega\frac{q(t)}{\varepsilon^3(x,t)} \tag{29}$$

Scałkujmy go teraz w granicach od x do L.

$$\int_x^L \frac{\partial h(x,t)}{\partial x}dx = -\Omega q(t)\int_x^L \frac{dx}{\varepsilon^3(x,t)} \tag{30}$$

W wyniku całkowania otrzymujemy poniższe równanie określające rozkład ciśnienia w ośrodku porowatym

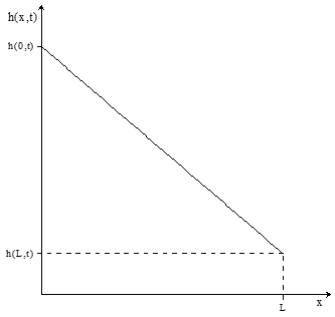
$$h(x,t) = h(L,t) + \Omega q(t)\int_x^L \frac{dx}{\varepsilon^3(x,t)} \tag{31}$$

Jako pierwszy przypadek rozważymy rozwiązanie powyższego równania dla przepływu bez kolmatacji. Z dotychczasowych naszych rozważań wynika (23), że w takim przypadku $\varepsilon(x,t) = \varepsilon_o$, a więc

$$h(x,t) = h(L,t) + \Omega q(t)\frac{1}{\varepsilon_o^3}(L-x) \tag{32}$$

Otrzymana zależność (32) opisująca rozkład ciśnienia przy przepływie bez kolmatacji została zilustrowana graficznie na rys. 2 i jest zgodna z przebiegami obserwowanymi w trakcie eksperymentów.

Drugi przypadek to ten, w którym w trakcie przepływu przez ośrodek porowaty cieczy niosącej zawieszone cząstki stałe dochodzi do ich wymiany z ośrodka ciekłego do stałego – kolmatacji. Prowadzi to w konsekwencji do uzmiennienia rozkładu porowatości co zostało wyrażone zależnością (24).



Rys. 2. Rozkład ciśnienia w ośrodku porowatym przy przepływie bez kolamatacji

Fig. 2. Pressure distribution in a porous medium during flow without colmatage

$\varepsilon(x,t)=\varepsilon_o-n\alpha_o\, e^{-\alpha_o x}\int q(t)dt$

Ponieważ wiadomo [14], że

$$\int q(t)dt=Q(t) \tag{33}$$

to zależność (24) możemy zapisać w postaci (34).

$$\varepsilon(x,t)=\varepsilon_o-n\alpha_o\, Q(t)e^{-\alpha_o x} \tag{34}$$

Po wstawieniu otrzymanego równania (34) do równania ruchu w postaci (31) otrzymujemy

$$h(x,t)=h(L,t)+\Omega q(t)\int_x^t \varepsilon^{-3}(x,t)dx = \\ = h(L,t)+\Omega q(t)\int_x^t[\varepsilon_0-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}]^{-3}dx \tag{35}$$

Aby rozwiązać powyższe równanie najpierw obliczmy całkę nieoznaczoną w nim występującą. I tak

$$\int \varepsilon^{-3}(x,t)dx=\int[\varepsilon_0-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}]^{-3}dx = \\ =\frac{1}{2\alpha_o\varepsilon_o^3}\left[2\,ln(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})-\varepsilon_o\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}+2\alpha_o x+C_1\right] \tag{36}$$

Przechodząc do całki oznaczonej otrzymujemy

$$\int_x^L \varepsilon^{-3}(x,t)dx=\int_x^L[\varepsilon_0-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}]^{-3}dx = \\ =\frac{1}{2\alpha_o\varepsilon_o^3}\left\{2\,ln\frac{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L})^2}-\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}\right]+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{37}$$

Wprowadzając nowe oznaczenie

$$\dot{\Omega}=\Omega\frac{1}{2\alpha_o\varepsilon_o^3}=a\frac{\nu}{g}\frac{\alpha^2}{\alpha_o\varepsilon_o^3} \tag{38}$$

możemy podać ostatecznie związek opisujący rozkład ciśnienia h(x,t) dla przepływu z kolmatacją, jak niżej

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\left\{2\,ln\frac{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}-\right. \\ \left.-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L})^2}-\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}\right]+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{39}$$

W tym miejscu warto przypomnieć dotychczasowe przybliżone równanie opisujące rozkład ciśnienia h(x,t) otrzymane przy pomocy linearyzacji wyrażenia $\varepsilon[x,t]^{-3}$ w otoczeniu ε_0 [7,14]. Po drobnych przekształceniach w celu ujednolicenia zapisu, postać tego równania jest następująca

$$h(x,t)\approx h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\left[6Q(t)\frac{n\alpha_o}{\varepsilon_o}(e^{-\alpha_o x}-e^{-\alpha_o L})+2\alpha_o(L-x)\right] \tag{40}$$

Z dotychczasowych badań [14] wiadomo, że rozkład ciśnienia przy przepływie z kolmatacją w chwili t = 0 jest taki sam jak dla przepływu bez kolmatacji (32). Czyli jest opisany funkcją liniową o równaniu

$$h(x,t)=h(L,t)+\Omega q(t)\frac{1}{\varepsilon_o^3}(L-x)=h(L,t)+2\dot{\Omega}q(t)\alpha_o(L-x) \tag{41}$$

Wprowadzając do równania (39) dla t=0 Q(0) = 0 widzimy, że otrzymane rozwiązanie jest analogiczne z równaniem (41), co pokazano poniżej:

$$h(x,t)=h(L.,t)+\dot{\Omega}q(t) \\ \left\{\underbrace{2\,ln\frac{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}}_{2\,ln\,1=0}-\underbrace{\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L})^2}-\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}\right]}_{\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o}{\varepsilon_o^2}-\frac{3\varepsilon_o}{\varepsilon_o^2}\right]=0}+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{42}$$

Na zakończenie tego artykułu chcielibyśmy przedstawić rozkład ciśnienia h(x,t) (39) w funkcji: porowatości ośrodka ε(x,t), rozkładu koncentracji unoszonych N(x,t) oraz wyłapanych P(x,t) cząstek kolmatanta.

Dla rozkładu porowatości opisanego równaniem (24) i z uwzględnieniem równań (33) i (34) rozkład ciśnienia można przedstawić zależnością (43)

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\left\{2\,ln\frac{\varepsilon(L,t)}{\varepsilon(x,t)}-\varepsilon_o\left[\frac{\varepsilon_o+2\varepsilon(L,t)}{\varepsilon^2(L,t)}-\frac{\varepsilon_o+2\varepsilon(x,t)}{\varepsilon^2(x,t)}\right]+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{43}$$

Z kolei rozkład zatrzymanej masy w ośrodku P(x,t) opisany jest poniższą zależnością [14]:

$$P(x,t)=n\alpha_o\, Q(t)e^{-\alpha_o x} \tag{44}$$

W konsekwencji więc rozkład ciśnienia h(x,t) możemy przedstawić następująco:

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\left\{2\,ln\frac{\varepsilon_o-P(L,t)}{\varepsilon_o-P(x,t)}-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2P(L,t)}{(\varepsilon_o-P(L,t))^2}-\frac{3\varepsilon_o-2P(x,t)}{(\varepsilon_o-P(x,t))^2}\right]+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{45}$$

Ponieważ funkcję N(x,t) określającą rozkład koncentracji unoszonych cząstek opisuje zależność (46) [14]

$$N(x,t)=ne^{-\alpha_o x} \tag{46}$$

to rozkład ciśnienia h(x,t) przybierze postać równania (47)

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\left\{2\,ln\frac{\varepsilon_o-\alpha_o Q(t)N(L,t)}{\varepsilon_o-\alpha_o Q(t)N(x,t)}-\right. \\ \left.-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2\alpha_o Q(t)N(L,t)}{(\varepsilon_o-\alpha_o Q(t)N(L,t))^2}-\frac{3\varepsilon_o-2\alpha_o Q(t)N(x,t)}{(\varepsilon_o-\alpha_o Q(t)N(x,t))^2}\right]+2\alpha_o(L-x)\right\} \tag{47}$$

Porównanie rozwiązań układu równań kolmatacji metodą linearyzacji i metodą dokładną

Porównując równania (39) i (40) można zauważyć, że różnią się tylko jednym członem. Jeżeli przedstawimy zależność (40) w formie

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\cdot A(x,t) \\ A(x,t)=2ln\frac{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L})^2}-\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}\right]+2\alpha_o(L-x) \tag{48}$$

natomiast równanie (39) w postaci

$$h(x,t)=h(L,t)+\dot{\Omega}q(t)\cdot B(x,t) \\ B(x,t)=6Q(t)\frac{n\alpha_o}{\varepsilon_o}(e^{-\alpha_o x}-e^{-\alpha_o L})+2\alpha_o(L-x) \tag{49}$$

to o odchyłce decyduje wtedy różnica między członami A(x,t) i B(x,t). Najprościej odchyłkę tą możemy zdefiniować w postaci współczynnika ξ(x,t) będącego stosunkiem A(x,t) do B(x,t)

$$\xi(x,t)=\frac{A(x,t)}{B(x,t)} \\ =\frac{2ln\frac{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}-\varepsilon_o\left[\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o L})^2}-\frac{3\varepsilon_o-2n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x}}{(\varepsilon_o-n\alpha_o Q(t)e^{-\alpha_o x})^2}\right]+2\alpha_o(L-x)}{6Q(t)\frac{n\alpha_o}{\varepsilon_o}(e^{-\alpha_o x}-e^{-\alpha_o L})+2\alpha_o(L-x)} \tag{50}$$

Z uwagi na nieokreśloność w czasie zakończenia procesu kolmatacji powyższa postać tego równania (50) jest trudna do analizy i sformułowania jakiś ogólnych wniosków. W związku z tym należy je przekształcić do innej postaci, która by odzwierciedlała dowolny fizyczny proces kolmatacji. Wprowadzając bezwymiarową zmienną y

$$\forall x\in[0,L]\quad y=x/L;\ y\in[0,1] \tag{51}$$

Oraz bezwymiarową zmienną z

$$\forall z \in [0,1]\ z=[n\alpha_o\, Q(t)]/\varepsilon_o \tag{52}$$

otrzymujemy uniwersalne równanie (53).

$$\xi(y,z)=\frac{2ln\frac{1-ze^{-\alpha_o}}{1-ze^{-\alpha_o y}}-\varepsilon_o\left[\frac{3-2ze^{-\alpha_o}}{(1-ze^{-\alpha_o})^2}-\frac{3-2ze^{-\alpha_o y}}{(1-ze^{-\alpha_o y})^2}\right]+2\alpha_o(1-y)}{6z(e^{-\alpha_o y}-e^{-\alpha_o})+2\alpha_o(1-y)} \tag{53}$$

Ze względu na charakter jednostek wielkości x i L bezwymiarowość współczynnika y jest oczywista. Wątpliwości może wzbudzać bezwymiarowość parametru z, a może powinniśmy zapisać go w postaci funkcji zależnej od czasu z(t). Bezwymiarowość parametru z wynika z warunku (26) określającego czas t zakończenia przebiegu zjawiska kolmatacji i zależności (27) określającej jego obszar. Jeżeli z=0 oznacza to, że proces kolmatacji dopiero rozpoczął się i czas t=0. Natomiast w przypadku gdy z=1 proces kolmatacji zakończył się. Nie posiadamy jednak informacji o czasie jego trwania. Parametr z jest więc bezwymiarowy i informuje nas o stopniu zaawansowaniu procesu bez wnikania w czas jego przebiegu. Tak zdefiniowana funkcja ξ(y,z) (53) daje narzędzie do bezwymiarowego porównania dwóch zależności (39) i (40). Oczywiście w równaniach tych występują parametry takie jak α_o oraz ε_o, ale są to wartości stałe.

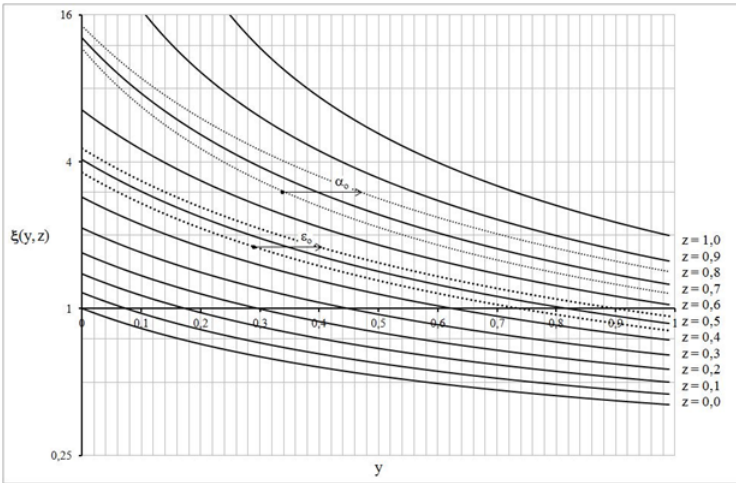
Na wykresie rys. 3 przedstawiono liniami ciągłymi zależność bezwymiarowego współczynnika ξ(y,z) od parametru y dla jedenastu wartości z będącymi informacją o stopniu zaawansowania procesu kolmatacji. Tak jak to widać w opisie po prawej stronie wykresu, każda krzywa odpowiada innej wartości z zaczynając od 0 a kończąc na wartości 1, przy przyjętych parametrach α_o oraz ε_o wynoszących odpowiednio 0.5 i 0.7. Ponadto dla z=0,6 co odpowiada stopniu zaawansowania procesu kolmatacji w 60%, naniesiono dwie krzywe oznaczone pogrubionym kropkowaniem w celu zilustrowania, jaki wpływ ma zmiana parametru ε_o na rozkład ξ(y,z). Przyrost wartości został zobrazowany kierunkiem zwrotu strzałki. Krzywe zostały wykreślone dla wartości ε_o=0.4 oraz ε_o=0.6 przy wartości α_o=0.5. Podobnie zilustrowano (krzywe kropkowane) wpływ zmiany parametru α_o dla z=0,8 na rozkład ξ(y,z). Tak jak w poprzednim przypadku, przyrost wartości został zobrazowany kierunkiem zwrotu strzałki. W tym przypadku krzywe zostały wykreślone dla wartości α_o=0.6 oraz α_o=0.8 przy wartości ε_o=0.7.

Oś argumentów y została celowa przesunięta do wartości ξ(y,z)=1. Ta wartość informuje nas, że bez względu na to, którą zależnością będziemy liczyć, (39) czy (40), otrzymamy takie same wartości. Jest to jedyny przypadek, w którym wynik otrzymany metodą przybliżoną pokrywa się z metodą dokładną. Pamiętajmy, że równanie (39) jest równaniem otrzymanym wprost z rozwiązania układu równań (1), (2) i (3), a wersja (40) to tylko forma przybliżona, ale dotychczas była stosowana do analizowania procesu kolmatacji. Stosując zależność przybliżoną (40) dla zakresu ξ(y,z)<1 otrzymane wyniki opisują zawyżony stopień zaawansowania procesu kolmatacji, a współczynnik ξ(y,z) informuje o ile. W przeciwnym przypadku gdy ξ(y,z)>1 otrzymane wyniki opisują zaniżony stopień zaawansowania procesu kolmatacji i w tym przypadku również współczynnik ξ(y,z) informuje nas o ile.

Wnioski

Przedstawiony tok rozumowania pozwala na dokładniejszy pod względem matematycznym opis przebiegu zjawiska kolmatacji – w oparciu o założenia teorii kolmatacji proponowane przez Profesora Alfreda Trzaskę [14] z uwzględnieniem pierwszej kinetyki procesu kolmatacji. Według dotychczasowej metody, z uwagi na skomplikowaną pod względem matematycznym postać równań różniczkowych opisujących zachodzące zjawisko kolmatacji, przyjmowało się uproszczona postać funkcji $\varepsilon(x,t)^{-3}$ linearyzując tą funkcję w otoczeniu ε_0 [5,14]. Współczesne narzędzia obliczeniowe pozwoliły nam rozwiązać układ równań opisujących pierwszą kinetykę (1),(2),(3) w sposób bezpośredni bez stosowania przybliżeń w postaci linearyzacji. Potrzeba dokładniejszego rozwiązania wynika z rozbieżności pomiędzy otrzymanymi rozkładami podczas badań laboratoryjnych a przebiegami wynikającymi z symulacji komputerowej opartej o linearyzację członu $\varepsilon(x,t)^{-3}$.

Analizując krzywe na Rys. 3 można wysunąć wniosek, że dotychczasowe stosowanie formy przybliżonej opisu procesu kolmatacji obarczone było znaczącym błędem, tym większym im proces zbliżał się do końca. Ponadto formuła ta (40) nie miała mechanizmu, który informował by nas, że proces kolmatacji już zmierza ku końcowi lub się zakończył. Wynika to z faktu, że postać zależności (40) nie uwzględnia warunków



Rys. 3. Graficzna ilustracja zmienności parametru ξ

Fig. 3. Graphical illustration of the variability of the ξ parameter

(24), (26) przez co funkcja nie zmierza asymptotycznie do określonej wartości. Jest to jedna z przyczyn rozbieżności pomiędzy metodą przybliżoną i dokładną co generuje odchyłkę. Druga przyczyna generowania odchyłki jest związana z tym, że zgodnie z zależnością (49) źle wyznaczona wartość współczynnika B(x,t) ma wpływ na błędną wartość q(t), a to ma wpływ na niewłaściwy rozkład ciśnienia h(x,t). W przypadku przepływu z kolmatacją realizowanego przy stałej różnicy ciśnień, wymuszona różnica ciśnień narzuca jakie wartości może przyjąć iloczyn q(t) B(x,t). Jest to mechanizm samoregulacji procesu i z matematycznego punktu widzenia proces nadal trwa, chociaż fizycznie już się zakończył.

W przypadku funkcji (39) dąży ona do asymptoty zgodnie ze zdefiniowanymi warunkami (24) i (26). Bardzo ważną cechą zależności (39) jest zobrazowanie sensu fizycznego współczynnika kolmatacji α_0. Z postaci tej wynika jasno, że może ona przybierać jedynie wartości z przedziału [0,1]. Wartości 0 odpowiada brak wychwytu przepływających cząstek kolmatanta lub przepływ czystej cieczy, a wartości 1 odpowiada sytuacja, w której ośrodek wychwytuje wszystkie przepływające cząstki kolmatanta, czyli wypływa czysta woda, co z fizycznego punktu widzenia jest prawie niemożliwe. Dotychczas stosując metodę przybliżoną przyjmowano ten współczynnik jako parametr empiryczny o wartości umożliwiającej dopasowanie rzeczywistych pomiarów laboratoryjnych do symulacji komputerowej. W ten sposób jego interpretacja fizyczna wzbudzała wiele kontrowersji i była niejasna.

W trakcie prowadzenia badań eksperymentalnych określenie według jakiej kinetyki przebiega proces obarczone jest dużą niepewnością wynikającą prawdopodobnie z zastosowania linearyzacji członu $\varepsilon(x,t)^{-3}$ również w pozostałych kinetykach. Autorzy obecnie pracują nad znalezieniem bezpośredniego rozwiązania również dla kinetyki drugiej i trzeciej.

Literatura – References

1. Broda, K., 2001. Badania eksperymentalne zjawiska kolmatacji jako procesu doprowadzającego do likwidacji wodoprzepuszczalności ośrodków porowatych. Zabezpieczenie i Rewitalizacja podziemnych obiektów zabytkowych – Konferencja Naukowo-techniczna. Kraków-Bochnia 21-22 września 2001, 89-99, ISBN 83-912116-4-9
2. Herzig, J.P.; Leclerc, D.M.; Le Goff, P., 1970. Flow of Suspensions through Porous Media – Application to Deep Filtration. Industrial and Engineering Chemistry, 62,5,8-35
3. Ives, K.J.,1962. Filtration Using Radioactive Algea. Trans. ASCE, 127, part 3, 372-389
4. Litwiniszyn J., 1963. Colmatage Considered as a Certain Stochastic Process. Bull. Acad. Polon. Sci., Ser. Sci. techn., 3
5. Trzaska, A., 1972. New Kinetics Equations of the Colmatage Process and Their Application. Archiwum Górnictwa, 17,4,361-384
6. Trzaska, A., 1983. The Effect of Colmatage on the Porosity of Heterogeneous Porous Media. Archiwum Górnictwa, 28,1,3-11
7. Trzaska, A., 1986. The Distribution of Pressure During the Flow with Colmatage Through Heterogeneous Porous Media. Archiwum Górnictwa, 31,1,175-183
8. Trzaska, A., 1989. On Researches of the Colmatage. Archiwum Górnictwa, 34,3,529 541
9. Trzaska, A., Broda, K., 1991. Comparison of The Actual Course of Colmatage with Its Theoretical Description. Archiwum Górnictwa, 36,4,325-332.
10. Trzaska, A., Broda, K., Filek, K., 1999. Experimental Research of the Influence of the Colmatage Process on Pressure Distribution and Variability of Flow Discharge and Flow with Free Surfaces. Archives of Mining Sciences, 44,4,531 532.
11. Trzaska A., Broda K., 2000. Possibility of Determining Colmatage Parameters and Functions Basing on the Theory of Colmatage and Experiment. Archives of Mining Sciences, 45, 4, 527-542
12. Trzaska, A.; Broda, K.; Rapacz, R., 2001. O możliwości ograniczenia dopływu wód do wyrobisk górniczych. Górnictwo, 25,2,41-48
13. Trzaska A., Broda K., Filipek W., Sobowska K., 2005. The Phenomenon of Colmatage and Its Effect on the Environment. Archives of Mining Sciences, 50, Special Issue, 43-56
14. Trzaska, A; Sobowska, K.; 2007. Kolmatacja przepływy z wymianą masy i zmianą pędu. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków

Pressure Distribution in a Porous Medium During the Colmatage Phenomenon Accurring According to the First Kinetics without Linearization of the Expression Defining the Porosity of the Considered Medium as a Function of Position and Time

The phenomenon of colmatage occurs in nature wherever there is a flow of fluid carrying suspended solid particles through porous media. Even the "cleanest" water flowing into the well after some period of time will become clogged and therefore its efficiency will decrease, which is a negative phenomenon. Research conducted in our center, since the 1960s [1,4-14], has led to: a theoretical description of the phenomenon of colmatage [4-8,13,14] and a number of experiments verifying it [9-14]. The obtained results were used during tests to seal the rock mass around a mining excavation [12].

This article attempts to determine the area K in the case of the colmatage phenomenon occurring in accordance with the first kinetics, and to identify/formulate relationships describing the pressure distribution h(x,t) for the flow without colmatage and with colmatage without linearization of the expression $\varepsilon(x,t)^{-3}$ in the surroundings ε_o, where ε determines the porosity of the medium as a function of position and time. Determining the area K allows us to clearly derive the exact pressure distribution h(x,t) during flow with colmatage through a porous medium without linearization, and then compare the solutions of the system of colmatage equations using the linearization method and the exact method using the dimensionless form of the ξ function. During the experimental research, the attempt to match the actual phenomenon with the developed mathematical model was burdened with high uncertainty, probably resulting from the use of linearization of the $\varepsilon(x,t)^{-3}$ term. In the article, the authors explain what generates the deviation of the approximate method from the exact solution and point out that the exact solution better reflects the physical meaning of the mathematical model for describing the phenomenon and the defined colmatation coefficients, the parameter ε_o, in particular.

Keywords: *filtration, colmatage, flow with mas and momentum exchange*

Changes in the Economic Result of Quarries

Jaroslav DVOŘÁČEK[1)], Radmila SOUSEDÍKOVÁ[1)], Radmila ZAPLETALOVÁ[2)], Petr RYS[3)]*

[1)] Faculty of Mining and Geology, VSB-Technical University of Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00, Ostrava-Poruba, Czech Republic
[2)] Kamenolomy ČR s.r.o., Czech Republic
[3)] Municipality Bruntál, Czech Republic
* Corresponding author: Jaroslav DVOŘÁČEK, Faculty of Mining and Geology, VSB-Technical University of Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00, Ostrava-Poruba, Czech Republic; email: jaroslav.dvoracek@vsb.cz

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-51

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

The article deals with the analysis of changes of 6 quarries economic results in the period 2013– 2018, that was an improvement and deterioration of the economic results. The analysis shows that changes in the economic results are mainly influenced by changes in sales and variable cost management.

Keywords: *quarrying, financial results of quarries, change of financial results*

Introduction

The collection of natural materials on the surface of the earth and later surface mining has accompanied human society since ancient times. Over time, mining and processing technology has improved, but the essence of quarrying has remained fundamentally the same. The original exchange in kind was replaced by trading on the principles of economy. Quarrying activities contribute to the economic development and employment, support communities in the provision of social amenities and infrastructure among others (Panagopoulos et al.; 2017; Baah- Ennumh et al.; 2021). The outbreak of COVID-19 virus has triggered a global public health crisis. Restricting the movement of people has resulted in a substantial contraction in economic activity. It was connected with production shock (many businesses have been temporarily shut down) and consumption shock (consumers reduced their discretionary spending and increased their precautionary savings (de Bruin et al.; 2020).

The reduction in demand and investment activity affected the economic results of companies, including quarrying. The profit of the quarries has decreased. In many cases, it turned into a loss. The situation during the pandemic was not exceptional. The global financial crisis in the period 2008-2009 had similar effects.

The question then arises as to whether fluctuations in the economic result are only linked to a drop in demand and production or whether there are other influences as well. This problem is also relevant for large mining companies owning many quarries. Identical raw materials are extracted in these quarries, the technological essence of the mining process is comparable, safety regulations require the same qualification of employees at all quarries. Nevertheless, the economic results measured by the profit/loss of a particular quarry are quite different. Therefore, the questions can be formulated in general: (i) why some quarries are profitable and some unprofitable (ii) why their economic results change.

Answers to these questions were sought in the conditions of a major company operating a lot of quarries in Central and Eastern Europe. Attention was paid to quarries in the Czech and Slovak Republics.

Quarrying and its effects

Quarrying is the process of extracting minerals and rocks from natural deposits located on or below the Earth's surface and processing them into commercial products. Commercial products are crushed aggregate, sand, gravel, energy raw materials (e. g. coal) and industrial minerals (gypsum, kaolin, clay, etc.).

Although the growth of the aggregates industry will positively and materially impact jobs, earnings, and sales in many sectors of the national´s economy (Ford and Spiwak; 2017), quarrying industry has many negative consequences--change of geomorphology and conversion of land use, with the associated change in visual scene. This major impact may be accompanied by loss of habitat, noise, dust, vibrations, chemical spills, erosion, sedimentation, and dereliction of the mined site (Langer; 2001; Milgrom; 2008; Willis and Garrod; 1999). Quarrying represents competition for the use of land, for example for agriculture or infrastructure construction in the region. It is therefore not surprising that quarrying of minerals is met with public opposition. Quarries remain one of the most disliked forms of development behind casinos, power plants and landfill sites (Quarry Management; 2008). Public perception of mining and quarrying is generally very poor (Bloodworth et al.; 2009), although there are some exceptions (Panagopoulos et al.; 2017).

Establishing new mining capacity becomes extremely difficult, at best, quarries are pushed further from populated areas. Aggregates are, however, characterized by a low unit value. When the transport distances from the place of extraction to the place of consumption are extended, the transport costs have a high proportion in the total unit costs. As a result, most of the demand for aggregates is met by local producers from shorter distances, which vary from country to country but remain the same order of magnitude: 40 kilometres (Menega-

ki and Kalimpakos, 2010; Highley et al. in Bloodworth et al. 2009), 30 miles (approx. 48 km) (Jaeger, 2006), 50 km (Escavy et al., 2020), 56 km (Escavy et alt., 2022), 80 km (Poulin and Bilodeau, 1993). It means that suitable geological conditions are a necessary, but not sufficient, condition for a viable quarry. What does a favourable economic outcome of a quarry depend on?

The economic result of quarrying

The economic result of any company, including a quarry, is, in its simplest form, the difference between total revenues and total costs. It takes the form of profit or loss. In the short term, a firm can lose money and still operate by drawing from previously accumulated financial reserves. But in the long term, securing profit is essential for the survival of the company. (Hill, 2017).

Publications related to the economics of individual quarries are mostly associated with the evaluation of investments, changes in quarry operations or optimization of quarry operations (e. g. Fiore et al.; 1970, Şirin et al.; 2021, Altus Group; 2021).

Analyses of the economic results of quarries receive little attention in publications, although "...quarrying is a "run for profit business" (Milgrom; 2008). The major reason anyone would go into quarry operation is to make profit by recovering as much valuable (quality) materials from the deposit as possible at an economical level (Igonor and Oden; 2011).

The analysis of the economic results of the quarries was carried out in the conditions of a company based in the Czech Republic. The company is part of a multinational concern containing companies in the form of joint-stock companies and limited liability companies, which are interconnected by property. Individual companies include quarries located in Central and Eastern European countries. The initial information was production statistics and accounting of individual quarries. Due to the confidentiality of these data, the identification of the multinational concern or the analysed company is not given.

This company provides mining, production, and sale of aggregates for concrete and asphalt mixtures, road and engineering constructions, railway construction, regulation of water flows. Quarries are characterized by seasonal production. The winter period is mostly used for winter repairs of a larger scale. Repairs are financed from the reserve for winter repairs, which is formed during the mining period. Accounting is conducted in euros. Each location is reported as a separate unit, sales of its products and all operating costs are recorded. Costs that cannot be allocated to individual sites are transferred to the quarries through overheads. Overheads are calculated as a percentage of sales for aggregate sales to foreign customers.

All quarries report their information in the following structure:

- production of construction materials in tons (sand, gravel, quarry stone, other products).
- sales in tons
- sales for individual assortment items in euros
- other sales (transportation, rental of machines, etc.)
- total revenue
- change in stock level
- revenue from sales
- variable costs (drilling and blasting work, energy, repairs, subcontracts, variable wages, service etc.)
- contribution per unit
- fixed costs (depreciation, fixed wages, insurance, taxes, interest, etc.)
- economic result
- breakeven point in tons
- profitability of sales

Based on these production statistics and accounting data, the economic results of individual quarries can be analysed.

Two basic questions related to the economic results of quarries can be formulated as follows:

- What factors cause some quarries to be profitable and others to be unprofitable?
- What factors cause some quarries to improve their economic results year-over-year (change from loss to profit, reduce loss or increase profit) and other quarries to worsen their economic results year-to-year (change from profit to loss, reduce profit or deepen loss)?

It is obvious that only factors reported within the given company could be considered, i.e., primarily information from accounting and production statistics. Other company information sources were used for a small number of indicators.

The first question can be answered based on long-term operational experience (Zapletalová pers. comm.).

A profitable quarry can be characterized as follows: it is a large quarry with sufficient reserves of mineral raw material, with quality rock in terms of technological parameters and applicability. On this basis, the quarry achieves higher production prices, it is free from conflicts of interest that would limit its production. The quarry is not located close to the settlement, it has an available infrastructure. The technological line to produce crushed aggregate is stable and uses electrical energy. The quarry is characterized by higher extraction and sales of production. In many cases, large-scale constructions stabilizing the supply of mined raw materials for a longer period are in the relative vicinity. The quarry is associated with a cheaper acquisition in the more distant past.

Loss quarry is relatively small with smaller production and lower selling prices. The technological line is mobile, the energy source is diesel, the line is usually older. The quarry is located closer to settlements, which limits the scope of blasting work and the quantity of production transported through the village. The entire range is not produced, sales are directed to shorter distances. There are no nearby large-scale structures. The effect of insufficient production is a high proportion of fixed costs per unit of production.

The answer to the second question was sought based on detailed analysis of statistical and accounting data.

Factors causing improvement or deterioration of economic results of quarries

The analysis was carried out in the conditions of the mentioned company at 6 quarries in the period from 2013 to 2018. For each quarry, the economic result has therefore changed 5 times between individual years. Out of 30 changes, there was an improvement in the economic result 17 times, of which 6

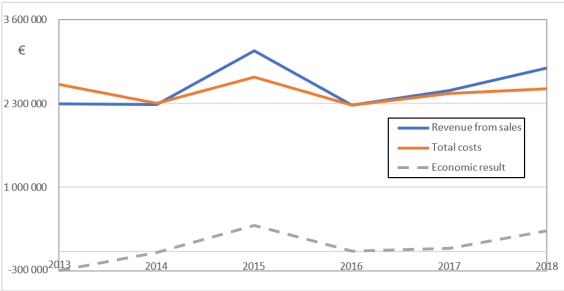


Fig. 1. Development of the economic result
Rys. 1. Rozwój wyniku ekonomicznego

times there was a transition from loss to profit. In 13 cases, there was a deterioration in the economic result, of which 2 times a transition from profit to loss.

An example of this development can be seen in Figure 1.

Based on accounting information and production statistics, an analysis of the origin and development of the economic result between individual years was performed. The analysis was carried out separately for deterioration and separately for improvement of the economic result. The research was conducted separately for the revenues and separately for the costs.

Revenues

Revenues depend on sales for aggregates (so-called net sales), according to individual types of assortments. Other sales are added to these sales – transport to the customer, space rental, machine rental, etc. This is how the total sales are obtained. Shipping costs are deducted from them and the change in inventory is added. This determines the revenue from sales.

In the structure of sales revenue, net sales have the largest share. These are determined by the total sales in tons, the sales structure (i. e. the assortment) and the prices of the individual items in the assortment. The influence of individual factors can be determined using the following procedure (Dvořáček; 1997): we start from the initial year (period (0)) and the subsequent year (period (1)). We will recalculate the sales structure of the period (1) with the prices of the period (0), i. e. we simulate a situation where there was no change in prices. Then we calculate the sales structure of period (0). According to this structure, we will divide the total amount of production of period (1). Thus, we assume that only the total quantity has changed, but its structure has remained. We multiply the calculated sales structure by the prices of the period (0). In this way, we simulate the situation that in period (1) the structure and prices in period (0) were preserved. If q_i denotes the sale in tons of individual assortment items, p_i denotes the prices of individual assortment items, and q_p the size of individual assortment items of the period (1) in the structure of the period (0), then it is possible to determine:

total change in net sales:	$\Sigma q_1p_1 - \Sigma q_0p_0$
in which:	
the effect of price changes:	$\Sigma q_1p_1 - \Sigma q_1p_0$
effect of the change in assortment:	$\Sigma q_1p_0 - \Sigma q_pp_0$
effect of quantity change:	$\Sigma q_1p_0 - \Sigma q_0p_0$

In doing so: $\Sigma q_p = \Sigma q_1$. We perform the total for all items in the assortment. In this way, it is possible to find out which factor has the greatest quantitative influence on the change in net sales.

The revenue analysis was performed separately for the deterioration of the economic result and separately for the improvement of the economic result.

Deterioration of the economic result: revenues

The deterioration of the economic result occurred in 13 cases. Of which:

- In 9 cases production decreased, in 4 cases production increased.
- In 11 cases aggregate stocks increased, in 2 cases stocks decreased (sales were greater than production).
- In 11 cases the sales revenue decreased, in 2 cases the sales revenue increased.

The change in sales for aggregates was most influenced by:

- the change in quantity that had the most negative effect (decrease in sales) in 9 cases;
- the change in assortment that had the most negative effect in 3 cases;
- the change in assortment that had the most positive effect in 1 case.

Improving the economic result: revenues

There was an improvement in the economic result in 17 cases. Of which:

- In 12 cases production increased, in 5 cases production decreased.
- In 10 cases aggregate stocks increased, in 7 cases stocks decreased (sales were greater than production).
- In 12 cases the sales revenue increased, in 5 cases the sales revenue decreased.

The change in sales for aggregates was most influenced by:

- the change in quantity that had the most positive effect in 12 cases;
- the change in quantity that had the most negative effect in 5 cases.

Sub-summary for the revenues: for a change in the economic result, it is not the change in production that is decisive, but in sales. Out of the total number of 16 cases of growth in production (with deterioration as well as improvement in the economic result), in 12 cases (75%) stocks also increased. Part

of the production therefore did not find a market. In 9 cases (64%) of the 14 cases of a decrease in production (with a deterioration as well as an improvement in the economic result), stocks also increased. A change in sales affects a change in sales revenue, and these are closely related to a change in economic results. Out of 13 cases of deterioration of the economic result, in 11 cases (85%) the sales revenue decreased. Out of 17 cases of improvement in the economic result, in 12 cases (71%) the sales revenue increased. The change in the amount sold had a dominant effect on the change in aggregate sales.

Costs

Based on operational experience, the issue of natural conditions, technology and quarry management can be projected into the costs (Zapletalová, pers. comm.). Since the quarries have different sizes and different levels of production, we used indicators determined as the ratio of costs to production, i.e., costs per 1 ton. This indicator makes comparability possible.

In natural conditions we included "the ratio of drilling and blasting costs to production" and "average prices of individual assortment items". These prices reflect the quality of the aggregate.

In the technology area, we have included "ratio of machine cost to production" and "ratio of service cost to production".

In the area of quarry management, we have included "ratio of wage costs to production" and "ratio of total costs to production."

Again, the analysis was carried out separately for the deterioration of the economic result and separately for the improvement of the economic result.

Deterioration of the economic result: costs

Natural conditions: deterioration of the economic result occurred in 13 cases. Of which:

- in 7 cases, the ratio of drilling and blasting costs to production increased, and at the same time, in 7 cases, higher sales per 1 ton of production were achieved;
- in 6 cases, the ratio of drilling and blasting costs to production was reduced, and at the same time, in 4 cases, higher sales per 1 ton of production were achieved.

Technology: the economic result deteriorated in 13 cases. Of which:

- in 8 cases, the ratio of machinery costs to production increased, and at the same time, in 6 cases, the ratio of service costs to production increased;
- of these, in 2 cases, the stationary crusher was replaced by a mobile device, the operation of which was financed through the services;
- out of 8 cases of growth in the ratio of machine costs to production in 6 cases there was a decrease in production, i. e. a lower use of machines.

Quarry management: deterioration of the economic result occurred in 13 cases. Of which:

- in 10 cases there was an increase in the ratio of wage costs to production, at the same time there was a reduction in production volume in 8 cases. Increased wages were not linked to production bonuses;
- in 12 cases there was an increase in the ratio of total costs to production, at the same time in 9 cases the ratio of overhead costs to production increased.

Improving the economic result: costs

Natural conditions: the economic result improved in 17 cases. Of which:

- in 10 cases, the ratio of drilling and blasting costs to production increased, at the same time, in 8 cases, an increase in sales per 1 ton of production was achieved;
- in 7 cases, the ratio of drilling and blasting costs to production was reduced, at the same time, in 4 cases, sales per 1 ton of production were increased.

Technology: the economic result improved in 17 cases. Of which:

- in 12 cases, the ratio of machine costs to production decreased, and at the same time, in 11 cases, production increased. At the same time, in 7 cases, the ratio of service costs to production decreased.

Quarry management: the economic result improved in 17 cases. Of which:

- in 7 cases, there was an increase in the ratio of wage costs to production, and at the same time, in 4 cases, production increased;
- in 5 cases, the ratio of total costs per 1 ton of production increased, and at the same time, in 4 cases, the ratio of overhead costs per 1 ton of production increased.

Sub-summary for the costs: the increase in the ratio of drilling and blasting costs to production can be due to:

- by increasing the price of inputs for these activities;
- by switching to stronger, and thus superior quality parts of the deposit, which can be sold at higher prices.

However, if out of the 30 cases of analysed quarries there was an increase in sales per 1 ton of production in 77% of cases, this is rather a general increase in the price level of produced aggregates and not a transition to stronger parts of the deposit with the necessity of an increased number of boreholes and with higher unit consumption of explosives. An increase in sales per 1 ton of production also occurred at quarries, where the ratio of drilling and blasting costs per 1 ton of production fell.

The problem of the ratio of the costs of machines per 1 ton of production is linked with machine use – higher use means higher production and a decrease in the level of this indicator. Changes in technology in the form of reconstruction and replacement of stationary technology with mobile technology had a negative effect here, which increased the ratio of machine costs to production. Unsolved is apparently the issue of wages, which increase even in the situation of reduced production – in 65% of cases. The burden resulting from overheads also has a negative effect, where in 75% of cases the increase in the ratio of overhead costs to production is associated with an increase in total costs per 1 ton of production.

Overall Summary and Discussion

Deterioration of the economic result: out of 13 cases of deterioration of the economic result, there was an increase in

aggregate stocks in 11 cases and a decrease in sales revenue in 9 cases. Inventories of aggregate in stock are valued at cost-based prices, so quarries lose the profit mark-up when calculating the economic result. The deterioration of the economic result is therefore linked to sales problems.

At three quarries with a decrease in production, the stationary crushing line was changed to a mobile line, the operation of which was ensured as part of external services. In other cases, they were carried out reconstruction and modernization. In 9 quarries with a decline in production, the ratio of service costs to production increased. The reason was insufficient use of machines, which was caused by a decrease in production caused by sales problems. Of the 9 quarries with a decrease in production, in 8 cases the wage-to-production ratio increased. It points to the unresolved issue of labour management in connection with the interruption of mining in the winter period. The reduction in production was not in accordance with the development of significant variable costs – drilling and blasting, services, which led to an increase in the ratio of costs for these activities to production.

Sales problems associated with the decline in production, which was not matched by the development of variable costs, and demand for wages can be considered as the causes of the deterioration of the economic result.

Improving the of economic result: in 12 cases out of 17, i.e., in 70.6% of cases, both production and sales revenue increased. In 5 cases out of 17, i.e., in 29.4%, sales revenues decreased, but they were associated with a decrease in variable costs. This was mainly a decrease in the ratio of the costs of machinery to production in 70.6% of cases. This decrease in the ratio was due to a higher level of production, i.e., higher utilization of machines. In 41.2% of cases, the ratio of drilling and blasting costs to production decreased. The area of wage demand was problematic here as well. In 41.2% of cases there was an increase in the ratio of wage costs to production, but only in 23.5% of cases there was an increase in production. The motivating role of wages appears to be weak.

Conclusion

The analysis shows the importance of production, sales and costs planning. The economic result is, on the one hand, linked to sales revenue, which is influenced by the amount of production. It results in variable costs. From the point of view of sales, changes in the economic result are dependent on the share of production and assortment that the quarry has contractually guaranteed with customers. A higher share of guaranteed sales facilitates the planning of mining and variable costs.

A separate issue is the area of wages in the period when the climatic conditions do not allow activity in the quarry. It is solved by releasing workers for a limited time or creating reserves for winter activity. The growth of wage costs in the face of declining production does not indicate the motivational function of wages. From the point of view of overheads as fixed costs, the quarry is burdened with a share of costs that it cannot influence.

The idea of a successful company is usually associated with its high production. Quarrying, however, produces assortment items that hardly find a market – fine fractions. The economic results also depend on the distance to which the production is transported.

It can therefore be assumed that, despite the importance of the natural conditions of the deposit, changes in demand and management of variable costs are decisive for changes in the economic result.

Literatura – References

1. ASHLOCK, J. C., CEYLAN, H., RUTHERFORD, C., CETIN, B. (2021). Use of Waste Quarry Fines as a Binding Material on Unpaved Roads. Iowa State University, Institute for Transportation, November 2021. [online]. [vid. 2023-01-12]. Available from: https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2021/12/waste_quarry_fine_use_as_unpaved_roa d_binding_material_w_cvr.pdf
2. Altus Group (2021): Milton Quarry East Extension, Town of Halton Hills. Fiscal Impact Study. Altus Group Economic Consulting, Toronto, Canada, November 15, 2021. [online]. [vid. 2022-12-28]. Available from: https://www.halton.ca/getmedia/f7a7f558-3dd2-4018-afdb-0b41edd43e85/Altus- Fiscal_Impact_Study.aspx
3. BAAH-ENNUMH, T. Y., YEBOAH, A. S., AKULAREMI, A-E. J. (2021). Contextualizing the effects of stone quarrying: insights from the Wenchi municipality in Ghana. Geojournal (2021) 86+:489-505.
4. BLOODWORTH, A. J., SCOTT, P. W., Mc EVOY, F.M. (2009). Digging the backyard: Mining and quarrying in the UK and their impact on future land use. Land Use Policy 265 (2009), 317-325.
5. De BRUIN, K., MONAGHAM, E., YAKUT, A. M. (2020). The Environmental and Economic Impacts of the COVID 19 Crisis on the Irish Economy: An Application of the I3E Model. The Economic and Social Research Institute, Dublin, Ireland. [online]. [vid. 2022-12-08]. Available from: https://www.esri.ie/system/files/publications/RS106_2.pdf.
6. CLIVE, M.: Quarry Fines and Waste (2009). Quarries & Mines. [online]. [vid. 2023-01- 04]. Available from: https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/6290/1/Quarry_Fines_and_Waste.pdf
7. DVOŘÁČEK, J. (1997): Analýza činnosti báňského podniku. VŠB-Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-7078-515-2.
8. ESCAVY, J. I., HERRERO, M. J., TRIGOS, L., SANZ-PÉREZ, E. (2020): Demographic vs economic variables in the modelling and forecasting of the demand of aggregates: The case of the Spanish market (1995-2016). Resources Policy 65, 101 537.
9. ESCAVY, J. I., HERRERO, M. J., LOPEZ_ACEVEDO, F., TRIGOS, L. (2022): The progressive distancing of aggregate quarries from the demand areas: Magnitude, causes, and impact on CO2 emissions in Madrid Region (1995-2018). Resources Policy 75, 102 506.
10. FIORE, C., CONINGSBY, W. C., KOK, A. (1970): Some aspect of quarrying economics. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, July 1970, pp. 359-365.
11. FORD, G. S., SPIWAK, L. J. (2017): The economic impact of the Natural Aggregates Industry: A National, State, and County Analysis. Industry Scorecard: Aggregates. [online]. [vid. 2023-01-13]. Available from: https://www.nssga.org/sites/default/files/2021- 04/AggregatesIndustry2017ScorecardFinal.pdf
12. GATT, P. (2001): Limestone quarries and their environmental impact. Hubert H. Humprey Seminar, April 2001, Cornell University, New York, USA. [online]. [vid. 2023-01-03]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/265729542_Limestone_quarries_and_their_en vironmental_impact
13. HILL, B., 2017. The Importance of Profit to a Business. 2017 bizfluent. [online]. [vid. 2022-08-01]. Available from: https://bizfluent.com/info-7800710-importance-profit- business.html.
14. IGONOR, E. E. and ODEN, M.I. (2011). Geological, geotechnical, and technical assessments-key essentials in quarrying economics. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 3, pp. 52-57.
15. Industry Scorecard (2017). The Economic Impact of the Natural Aggregates Industry: A National, State, and County Analysis. Phoenix Center for Advanced Legal & Economic Public Policy Studies. [online]. [vid. 2022-12-07]. Available from: https://www.nssga.org/sites/default/files/2021- 04/AggregatesIndustry2017ScorecardFinal.pdf
16. ISLES, M. (1996). Quarrying Sustainability: The aggregates industry squaring up to its lingering historical image. Quarry Management, vol. 23, (7).
17. JAEGER, W. K. (2006): The hidden cost of relocating sand and gravel mines. Resources Policy 31, 146 164.
18. LANGER, W. H. (2001). Potential Environmental Impacts of Quarrying Stone in Karst- A Literature Review. US Geological Survey. Open-File Report OF-01-0484. [online]. [vid. 2023-01-13]. Available from: https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0484/ofr-01- 0484so.pdf
19. MENEGAKI, M. E., KALIAMPAKOS, D. C., (2010). European aggregates production: Drivers, correlations and trends. Resources Policy 35, 235-244.
20. MILGROM, T. (2008). Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. Landscape and Urban Planning 87 (2008) 172-179.
21. OPONDO, E. O., AJAYI, D. D., MAKINDI, S. M. (2022). Impacts of quarrying activities on the environment and livelihood of people in Border II sub-location, Nyando sub-county, Kisumu County, Kenya. [online]. [vid. 2023-01-13]. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tqem.21881

22. PANAGOPOULOS, T., KARANIKOLA, P., TAMPAKIS, S., GOUNARI, N., TAMPAKIS, A. (2017). Rural renaissance-fostering Innovation and business opportunities in the quarry sector of Paggaio Municipality. Proceedings of the 8th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HASICTA 2017), Chania, Greece, 21-24 September 2017. [online]. [vid. 2023-01-04]. Available from: https://ceur-ws.org/Vol- 2030/HAICTA_2017_paper50.pdf

23. POULIN, R., BILODEAU, M. L. (1993). A model of mineral aggregate market. The Eastern Coastal USA. Resources Policy, Vol. 19, Issue 2, 131-144.

24. Quarry Management (2008). Care for the Community. May 2008, QMJ Publishing Ltd., pp. 45-46.

25. ŞIRIN, E., BONDUÀ, S., ELKARMOTY, M. (2021). Environmental and economic optimization for block cutting of dimension stones in a limestone quarry. Resources Policy 74 (2021) 102396.

26. SWEIN, W. D., LISBETH, A., KAMAL, A., JON, S. (2017). Handling of quarry waste from schist production at Oppdal, Norway. Proceedings of 19th EGU General Assembly, 23-28 April 2017, Vienna, Austria, 7749.

27. WILLIS, K. G., GARROD, G. D. (1999). Externalities from extraction of aggregates. Regulation by tax or land -use controls. Resources Policy 25, 77-86.

Zmiany w wynikach ekonomicznych kamieniołomów

Artykuł dotyczy analizy zmian wyników ekonomicznych 6 kamieniołomów w latach 2013-2018, czyli poprawy i pogorszenia wyników ekonomicznych. Analiza pokazuje, że na zmiany wyników ekonomicznych wpływają głównie zmiany w zarządzaniu sprzedażą i kosztami zmiennymi.

Słowa kluczowe: *kamieniołomy, wyniki finansowe kamieniołomów, zmiana wyników finansowych*

Badania zapylenia powietrza w warunkach kopalnianych podczas pracy prototypu kompaktowego suchego odpylacza filtracyjnego

Zbigniew KUCZERA[1], Rafał ŁUCZAK[5], Piotr ŻYCZKOWSKI[6], Zbigniew SZKUDLAREK[2], Marek KALITA[7], Piotr KRAWCZYK[3], Piotr CHONDROKOSTAS[4]

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; ORCID: 0000-0001-8130-5102
[2] Instytut Techniki Górniczej KOMAG; ORCID: 0000-0001-9066-7543
[3] Politechnika Warszawska; ORCID: 0000-0001-6270-7544
[4] 3N Solutions Sp. z o.o.
[5] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; ORCID: 0000-0001-6897-8679
[6] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; ORCID: 0000-0003-1573-9943
[7] Instytut Techniki Górniczej KOMAG; ORCID: 0000-0001-7492-698X

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-52

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstrakt

Artykuł dotyczy zagadnienia zastosowania innowacyjnego rozwiązania służącego do czyszczenia maszyn i urządzeń znajdujących się w wyrobiskach górniczych z zastosowaniem technologii UCT (Underground Cleaning Technology). Podczas czyszczenia podawana jest pod ciśnieniem mieszanina gazów składająca się w głównej mierze z dwutlenku węgla (suchy lód), który sublimując zwiększa efektywność czyszczenia. Podczas prac powstaje zapylenie powietrza wynikające z obecności w wyrobisku nagromadzeń pyłu węglowego i kamiennego oraz z emisji pyłów z procesu czyszczenia. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów rozkładu zapylenia na stanowisku pracy oraz w jego otoczeniu. W procesie czyszczenia zastosowano aktywne sposoby redukcji zapylenia powietrza za pomocą suchego odpylacza filtracyjnego. Badaniami objęto również strumień powietrza na wlocie do odpylacza oraz na jego wylocie. Na podstawie wykonanych pomiarów in situ oceniono wpływ metody czyszczenia urządzeń górniczych na stan powietrza w wyrobisku oraz możliwości zastosowania technologii UCT w podziemnych zakładach górniczych.

Słowa kluczowe: *zapylenie powietrza, zwalczanie zapylenia powietrza, suchy odpylacz filtracyjny, frakcja wdychalna, frakcja respirabilna, technologia UCT*

1. Wprowadzenie

W procesie urabiania i transportu węgla oraz skał towarzyszących powstają duże ilości pyłu przemysłowego. Ze względu na miejsce jego powstawania w górnictwie jako profilaktykę zbiorową pracowników wykorzystuje się głównie zraszanie (na organach maszyn urabiających, przesypach, kruszarkach) oraz urządzenia odpylające typu mokrego i suchego współpracujące z systemami wentylacji odrębnej [3, 4, 9]. Zwalczanie zapylenia w kopalniach węgla kamiennego ma na celu ograniczyć [3, 4, 5, 6]:

- powstawanie i osiadania pyłów w strefie niebezpiecznej, ze względu na zagrożenie wybuchem pyłu węglowego,
- negatywne oddziaływanie na zdrowie pracowników spowodowane wdychaniem pyłów przemysłowych zawierających wolną krzemionkę SiO_2, która powoduje zwłóknienie tkanki płucnej oraz działa toksycznie również na inne narządy organizmu ludzkiego.

Najprostszą metodą pomiaru stężenia pyłu [mg/m^3] jest oznaczanie wagowe pyłu wdychalnego (frakcja wdychalna) oraz pyłu respirabilnego (frakcja respirabilna) w jednostce objętości powietrza.

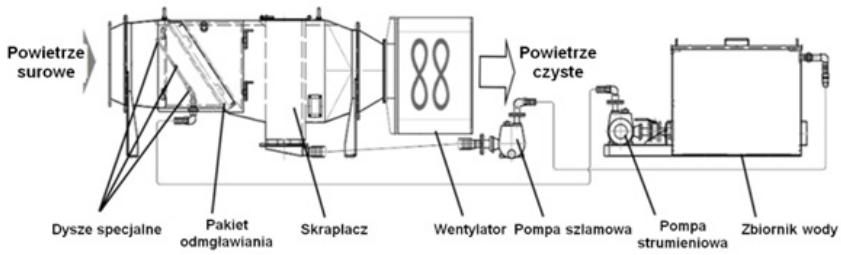
W warunkach kopalnianych najczęściej do pomiaru indywidualnej ekspozycji na pył w środowisku pracy pod ziemią używa się pyłomierzy grawimetrycznych CIP 10. Średnie stężenie pyłu przy pomocy CIP 10 oblicza się z zależności zdefiniowanej jako iloraz zmierzonej masy pyłu oraz iloczynu czasu pomiaru i natężenia przepływu powietrza w urządzeniu [9]. Od 21 sierpnia 2018 roku według [11] obowiązujące Najwyższe Dopuszczalne Stężenia (NDS) wynoszą:

- dla pyłów zawierających (wolną) krystaliczną krzemionkę od 2 do 50 mg/m^3 i powyżej 50 mg/m^3: 0,1 mg/m^3;
- dla pyłów węgla (kamienny, brunatny): frakcja wdychalna 10 mg/m^3, frakcja respirabilna 2 mg/m^3.

Według [11] frakcja wdychalna to frakcja aerozolu wnikająca przez nos i usta, która po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia, określona zgodnie z normą PN-EN 481. Natomiast frakcja respirabilna to frakcja aerozolu wnikająca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej, określona zgodnie z normą PN-EN 481. W przypadku pyłów węgla obowiązuje jednoczesne oznaczanie stężeń frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej.

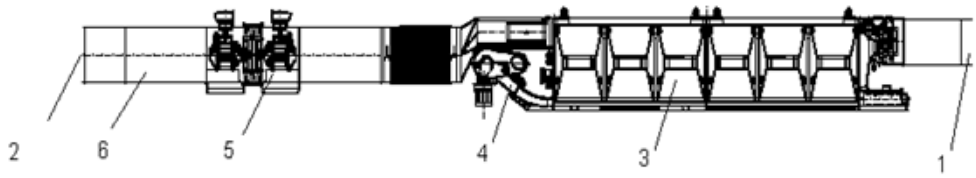
2. Sposoby redukcji zapylenia w warunkach kopalnianych

Urządzenia odpylające ze względu na budowę i zasadę działania można podzielić na odpylacze mokre oraz suche. Stanowią one ważny element systemu wentylacyjnego w czasie drążenia wyrobisk, który ma zapewnić bezpieczne warunki pracy [5, 6, 8]. Odpylacze mokre działają na zasadzie oczyszczania powietrza zawierającego pył, poprzez przechwycenie cząstek stałych zawieszonych w powietrzu przez kropelki wody, a na-



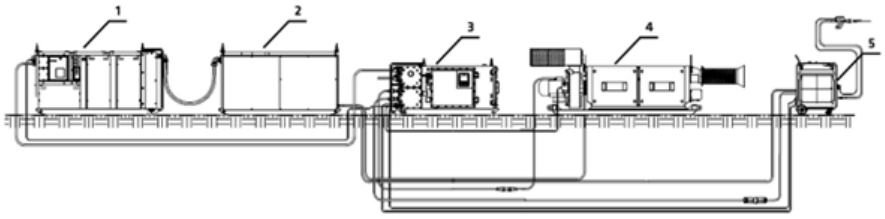
Rys. 1. Budowa i zasada działania odpylacza mokrego HCN firmy CFT [3]

Fig. 1. Construction and principle of operation of the CFT Wet Scrubber – HCN type [3]



Rys. 2. Budowa suchego odpylacza powietrza typu HBKO 1/500 [3]. Odpowiednia numeracja na rysunku 2 oznacza: 1 – wlotowy lutniociąg zasysający powietrze zapylone, 2 – wylot z odpylacza powietrza oczyszczonego, 3 – samonośne elementy filtrujące, 4 – przenośnik zgrzebłowy, 5 – stacja wentylatorów dGAL7-300/300, 6 – tłumik

Fig. 2. Construction of a dry deduster - HBKO 1/500 type [3]. The corresponding numbering in Figure 2 indicates: 1 – inlet brazier intake of dusty air, 2 – outlet of cleaned air dust collector, 3 – self-supporting filter elements, 4 – scraper conveyor, 5 – fan station dGAL7-300/300, 6 – silencer



Rys. 3. Schemat układu technologii UCT: 1 – moduł transportowy, 2 – sprężarka, 3 – moduł elektryczny, 4 – odpylacz, 5 – mieszalnik [10]

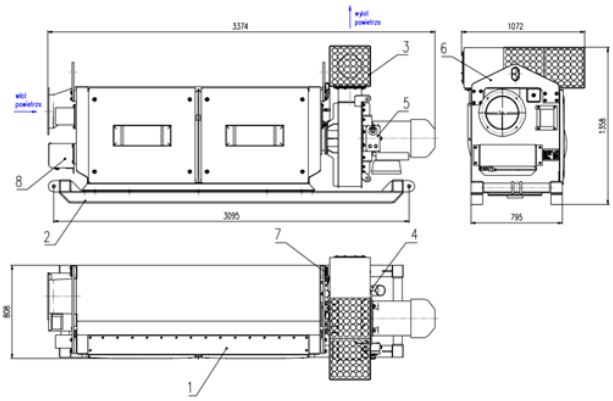
Fig. 3. UCT technology layout diagram: 1 – transport unit, 2 – compressor, 3 – electrical unit, 4 – deduster, 5 – mixer [10]

stępnie oddzielenie kropli wody od powietrza. Specjalne dysze generują kurtynę wodną oddziałującą na zasysane zanieczyszczone powietrze. Mieszanina pyłu, wody i powietrza przepływa przez „demister" (odmgławiacz), w którym następuje dalsze ich mieszanie. Skraplacz oddziela szlam i pozostałości wody od powietrza, a oczyszczone powietrze opuszcza system przez wentylator, który wytwarza odpowiednie podciśnienie. Wentylator umieszczony jest w strumieniu powietrza czystego. Oddzielona mieszanina wody i pyłu jest odpompowana do zbiornika w celu sedymentacji. Zbiornik ten może być umieszczony razem z urządzeniem bądź oddzielnie. Oczyszczona po sedymentacji woda ponownie wraca do dysz skraplających przy użyciu pompy strumieniowej [3, 4]. Budowa mokrego odpylacza HCN przedstawiona została na rys. 1 [3].

Redukcja pyłu w powietrzu metodą suchą odbywa się w zakładach górniczych przy pomocy suchych odpylaczy filtracyjnych. Odpylacze suche zatrzymują pył na materiale filtra, a następnie są oczyszczane za pomocą powtarzanego cyklicznie impulsu pneumatycznego, skierowanego w kierunku przeciwnym do zasysanego powietrza [3, 4]. Budowa odpylacza suchego HBKO firmy CFT przedstawia rys. 2.

Zapylenie powietrza powstaje na każdym etapie eksploatacji górniczej, przygotowania i transportu urobku. Zgodnie z [1, 10] opracowano innowacyjne rozwiązania poprawiające wydajność i bezpieczeństwo pracy maszyn w górnictwie. Określono innowacyjną technologię czyszczenia i konserwacji urządzeń zainstalowanych w strefie zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, w tym w wyrobiskach górniczych – technologia UCT (Underground Cleaning Technology). Technologię UCT opracowała i zaadoptowała do stosowanie w atmosferze kopalnianej firma 3N Solutions. Metoda UCT polega na wykorzystaniu tzw. suchego lodu, to jest dwutlenku węgla w fazie stałej, który kierowany jest na zanieczyszczony element. W wyniku zjawiska sublimacji generowany jest dodatkowy strumień energii pozwalający na oderwanie zanieczyszczeń z czyszczonej powierzchni [1].

UCT umożliwia czyszczenie podzespołów, instalacji, urządzeń zabudowanych w strefach wybuchowym bez konieczności ich wyłączania z eksploatacji i demontażu oraz transportu na powierzchnię lub w strefę niezagrożoną wybuchem. Technologia UCT charakteryzuje się bardzo wysoką skutecznością usuwania zbrudzeń na poziomie 90–95%. Usuwane zanieczyszczenia stanowią zaolejenia, pyły przewodzące i nieprzewodzące, tlenki metali, zanieczyszczenia organiczne, sadze z frontu instalacji, ale również z dalej zdeponowanych podzespołów bez konieczności ich demontażu. Usunięcie szerokiego spektrum zabrudzeń podczas czyszczenia zapobiegnie szybkiemu adsorbowaniu się kolejnych zanieczyszczeń wpływających na obniżenie parametrów pracy i trwałości oraz niezawodności urządzeń. Zalegające i nieusunięte zanieczyszczenia z przestrzeni pracy mogą powodować awarie, które skutkować będą przestojem generującym straty ekonomiczne. Mogą przyczynić się do powstania pożarów oraz powodować szybsze zużywanie się podzespołów, co skutkować będzie



Rys. 4. Budowa prototypowego odpylacza suchego: 1 – zespół oczyszczania powietrza, 2 – zespół odbioru zanieczyszczeń, 3 – dyfuzor, 4 – uchwyt złącza kablowego, 5 – pulpit sterowniczy, 6 – zawiesie, 7 – zespół pneumatyczny, 8 – pneumatyczne sterowanie czyszczeniem [2]

Fig. 4. Construction of a dry deduster prototype: 1 – air purification unit, 2 – pollution collection unit, 3 – diffuser, 4 – cable connector holder, 5 – console, 6 – lifting sling, 7 – pneumatic unit, 8 – pneumatic cleaning control [2]

Rys. 5. Odpylacz suchy podczas badań w LW „Bogdanka"

Fig. 5. Dry deduster during tests at LW "Bogdanka"

koniecznością wyłączenia instalacji lub ich wymiany. Oprócz lepszych parametrów pracy poprawie ulegnie również poziom bezpieczeństwa maszyn oraz osób obsługujących te maszyny. Dokładne usuwanie wszelkich zabrudzeń jest kluczowe dla zachowania prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania urządzeń. Schemat urządzeń układu UCT przedstawiono na rysunku 3.

3. Metodyka badań

Badania kopalniane funkcjonalności użytkowej prototypu suchego odpylacza filtracyjnego (rys. 4) wchodzącego w skład technologii UCT były przeprowadzone w kopalni węgla kamiennego LW „Bogdanka" S.A. w chodniku taśmowym 2fN w polu Nadrybie. Na rysunku 4 przedstawiono rzut prototypowego odpylacza suchego jako element redukujący zapylenie powietrza w technologii UCT a na rysunku 5 jego widok podczas badań w LW „Bogdanka" S.A.

Badania pilotażowe technologii UCT w atmosferze kolonialnej prowadzono w chodniku taśmowym 2fN, w którym zidentyfikowano następujące zagrożenia naturalne:

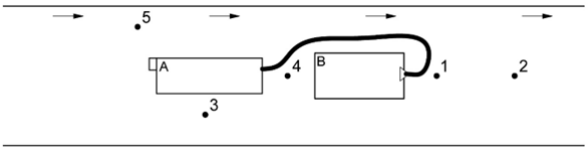
- I stopień zagrożenia metanowego,
- pomieszczenie ze stopniem "a" niebezpieczeństwa wybuchu metanu
- klasa B niebezpieczeństwa wybuchu pyłu węglowego,
- zagrożenie wodne I stopień,
- zagrożenie pożarowe IV grupa,
- zagrożenie klimatyczne: niezagrożone/I,
- radiacyjne – niezagrożone,
- wyrzutami gazów i skał – nie występuje,
- tąpaniami – nie występuje.

Chodnik wykonany był w obudowie ŁP o przekroju 16,2 m². Pomiary zapylenia przy pomocy urządzeń CIP 10 dla frakcji wdychalnej i respirabilnej oraz pomiary średniej prędkości powietrza w przekroju wyrobiska zostały przeprowadzone wg. schematu pokazanego na rysunku 6, a stanowisko czyszczenia zostało przestawione na rysunku 7. Na schemacie zaznaczono kolejne punkty pomiarowe: 1 – 1 m od miejsca czyszczenia, 2 – 10 m od miejsca czyszczenia, 3 – przed odpylaczem, 4 – 1 m za odpylaczem, 5 – 1 m od wylotu odpylacza.

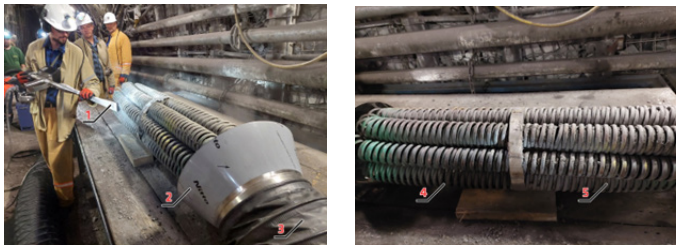
Badania miały na celu potwierdzić poprawne działanie prototypu technologii UCT zwłaszcza w kwestii poziomu stężenia pyłu w wyrobisku kopalnianym.

4. Wyniki badań

W wyrobisku górniczym LW Bogdanka - chodnik taśmowy 2fN pomiary zapylenia powietrza wykonywano za pomocą pyłomierzy grawimetrycznych CIP-10. Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono szczegółową ocenę stref z wybuchowym pyłem węglowym, w celu wyselekcjonowania stref zabezpieczających, w których badania nie zaburzałyby procesu eksploatacji górniczej i nie wpływałyby na stężenie i rozkład frakcyjny pyłu węglowego oraz intensywność osadzania jego poszczególnych frakcji. Do badań wybrano chodnik taśmowy 2fN zlokalizowany w polu Nadrybie. Zgodnie z Dz.U. 2018 poz. 1286. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [11], pomiarom poddano frakcje wdychalne oraz respirabilne pyłów emitowanych podczas czyszczenia. Pomiary średniego stężenia pyłu frakcji wdychalnej i respirabilnej realizowano metodą grawimetryczną, służącą do oznaczania indywidualnej ekspozycji na pył w środowisku pracy pod ziemią. Średnie stężenie pyłu obliczano z zależności zdefiniowanej jako iloraz zmierzonej masy pyłu



Rys. 6. Schemat pomiarowy badań zapylenia podczas pracy prototypu suchego odpylacza: A – odpylacz, B – stanowisko pracy
Fig. 6. Measurement diagram of air dust tests during operation of the dry deduster prototype: A – deduster, B – workstation



Rys. 7. Stanowisko czyszczenia: 1 – dysza, 2 – ssawa, 3 – przewód ssący, 4 – brudna część wymiennika, 5 – czysta część wymiennika
Fig. 7. Cleaning station: 1 – nozzle, 2 – suction nozzle, 3 – suction pipe, 4 – dirty part of the exchanger, 5 – clean part of the exchanger

Rys. 8. Pyłomierze CIP-10 – chodnik taśmowy 2fN w LW Bogdanka [10]
Fig. 8. CIP-10 dust meters – 2fN belt gallery at LW Bogdanka [10]

Rys. 9. Czyszczone urządzenia dołowe
Fig. 9. Cleaned underground equipment

Tab. 1. Wyniki pomiarów zapylenia powietrza w chodniku taśmowym 2fN za pomocą pyłomierza CIP-10

Tab. 1. Results of air dust measurements in a 2fN belt gallery using a CIP-10 dust meter

Lp.	Miejsce pobrania próbki	Frakcja wdychalna		Frakcja respirabilna		Stężenie krzemionki krystalicznej – frakcja respirabilna, mg/m³
		Stężenie, mg/m³	Błąd pomiaru, mg/m³	Stężenie, mg/m³	Błąd pomiaru, mg/m³	
1	Chodnik taśmowy 2fN - 1m od miejsca czyszczenia	9,40	±1,60	1,95	±1,40	0,089±0,020
2	Chodnik taśmowy 2fN - 10m od miejsca czyszczenia	2,11	±0,66	1,00	±0,66	0,014±0,004
3	Chodnik taśmowy 2fN - przed odpylaczem	5,10	±1,20	1,50	±1,30	0,015±0,004
4	Chodnik taśmowy 2fN - 1m za odpylaczem	7,66	±0,94	1,19	±0,74	0,096±0,032
5	Chodnik taśmowy 2fN - 1m od wylotu odpylacza	3,70	±0,52	1,58	±0,49	Poniżej dolnego zakresu

Tab. 2. Wyniki pomiarów średniej prędkości powietrza podczas procesu czyszczenia

Tab. 2. Measurement results of the average air velocity during the cleaning process

Lp.	Proces czyszczenia	Średnia prędkość powietrza w chodniku taśmowym 2fN $v_{śr}$ [m/s]			
		Pomiar 10m przed stanowiskiem czyszczenia	Pomiar 1m przed stanowiskiem czyszczenia	Pomiar 1m za stanowiskiem czyszczenia	Pomiar 10m za stanowiskiem czyszczenia
1	Czyszczenie silnika kolejki Scharf	0,71	0,68	0,70	0,72
2	Czyszczenie wyłącznika elektrycznego	0,72	0,69	0,70	0,71
3	Czyszczenie obudowy lampy elektrycznej	0,69	0,66	0,68	0,70
4	Czyszczenie podkładek mosiężnych	0,70	0,67	0,69	0,71
5	Czyszczenie podzespołów hydraulicznych	0,70	0,68	0,69	0,72
6	Czyszczenie wymiennika chłodnicy powietrza	0,72	0,70	0,70	0,71

oraz iloczynu czasu pomiaru i natężenia przepływu powietrza przez pyłomierz. Pomiarów masy miseczek filtracyjnych przed pomiarami i po, wykonano w laboratorium chemicznym LW „Bogdanka" S.A. Na podstawie zgromadzonych na miseczkach filtracyjnych pyłów, wykonano badania chemiczne stężenia krzemionki krystalicznej frakcji respirabilnej. Wyniki pomiarów laboratoryjnych wyrażono w mg/m³. W sumie podczas prac dołowych z wykorzystaniem prototypu UTC, wykonano 36 serii pomiarowych z wykorzystaniem pyłomierzy CIP-10 (rys. 8).

Badania dotyczyły pomiaru stężenia pyłów frakcji wdychalnej i respirabilnej oraz zawartości krystalicznej krzemionki w pyłach frakcji respirabilnej. W wybranych punktach pomiarowych (rys. 6) zlokalizowane były pyłomierze, które indywidulanie zbierały próbki pyłów frakcji wdychalnej i respirabilnej na wlocie i wylocie z odpylacza oraz w odległości 1 m i 10 m od stanowiska czyszczenia. Na podstawie zebranych prób badawczych (miseczek pomiarowych z materiałem filtracyjnym) przeprowadzono analizę laboratoryjną, na podstawie której określono stężenia zapylenia powietrza w wybranych punktach pomiarowych. Dla uzyskanych wyników określono również maksymalny błąd pomiarowy. Wyniki uzyskanych pomiarów i analiz przedstawiono w tabeli 1 i 2.

Najwyższe stężenia zapylenia powietrza występują w najbliższym otoczeniu miejsca czyszczenia, tj. w odległości 1m od stanowiska operatora oraz w wyrobisku na wylocie z odpylacza. Te dwa punkty pomiarowe zlokalizowane były najbliżej miejsca czyszczenia. Wraz z oddalaniem się od stanowiska operatora stężenia obu badanych frakcji maleją i w odległości 10 metrów stężenie frakcji wdychalnej wynosi tylko 2,1 mg/m³, a frakcji respirabilnej 1 mg/m³.

Na rozprzestrzenianie chmury zanieczyszczeń pyłowych duże znaczenie ma prędkość powietrza w wyrobisku kopalnianym. W trakcie procesu czyszczenia mierzono średnią prędkość powietrza w przekroju wyrobiska vśr [m/s] anemometrem skrzydełkowym μAS4 w odległości 1m oraz 10 m przed i za stanowiskiem pracy. W trakcie 24 serii pomiarowych, średnia prędkość powietrza oscylowała w przedziale od 0,66 do 0,72 m/s (tab. 2).

Podsumowując wykonane badania zapylenia, można stwierdzić, że stężenia zanieczyszczeń powietrza nie przekraczają wartości dopuszczalnych określonych w [11]. Stężenie krzemionki krystalicznej również mieści się w przedziale wartości dopuszczalnych (poniżej 0,1 mg/m³), jednak warto zauważyć, iż w punkcie 1 jak i 4 (według tabeli 1) stężenie to zbliża się do górnej wartości dopuszczalnej, ale jej nie przekracza. Spowodowane to może być emisją wtórną pyłów zalegających na wyposażeniu znajdującym się w wyrobisku oraz ruchem powietrza wywołanym pracą odpylacza i dyszy czyszczącej, a w szczególności nadmuchem strumienia mieszanki czyszczącej przez operatora. W odległości 1m od odpylacza stężenie krystalicznej krzemionki było poniżej progu wykrywalności. Na podstawie wykonanych pomiarów można stwierdzić, iż technologia UCT nie powoduje przekroczeń dopuszczalnych poziomów zapylenia powietrza w wyrobisku górniczym i może być stosowana do wykonywania prac czyszczenia pod ziemią.

Średnie stężenie zapylenia w chodniku taśmowym 2fN wynosiło dla frakcji wdychalnej 288,3 μg/m³ a respirabilnej 172,6 μg/m³ (tło zanieczyszczeń). Na stanowisku czyszczenia – stężenie pyłów w powietrzu zasysanym przed odpylacz wynosiło 9400 μg/m³ i dla frakcji respirabilnych 1950 μg/m³, które można uznać jako stężenie na wlocie do odpylacza. Natomiast na wylocie (w strumieniu powietrza oczyszczonego) z odpylacza zareje-

strowano wartości odpowiednio 155,7 μg/m³ i 95,8 μg/m³.

Uzyskane wyniki pomiarów potwierdzają wysoką skuteczność odpylania a działanie odpylacza wyraźnie poprawia warunki (obniża stężenie pyłów) w wyrobisku górniczym.

5. Podsumowanie i wnioski

Badania kopalniane efektywności zbierania zabrudzeń oraz efektywności odbierania chmury zabrudzeń przy wykorzystaniu prototypu technologii UCT były przeprowadzone w kopalni węgla kamiennego LW „Bogdanka" S.A. w chodniku taśmowym 2fN w polu Nadrybie. Do badań wytypowano: zespół napędowy (silnik) ciągnika kolejki podwieszanej, wyłącznik elektryczny i jego podzespoły, obudowę lampy, podkładki mosiężne, podzespoły hydrauliki, wymiennik chłodnicy powietrza. Pomiary wykonywane były w różnych odległościach od stanowiska czyszczenia, w celu określenia wpływu technologii UCT na środowisko miejsca pracy oraz jego otoczenie. Z przeprowadzonych badań in situ wynika, że zarówno dla pyłów frakcji wdychalnej jak i respirabilnej nie doszło do przekroczeń średnich wartości zapylenia na stanowisku operatora, jak również w odległości 10 m od miejsca czyszczenia. Zapylenie powietrza na wylocie odpylacza jest bardzo niskie, co poprawia stan powietrza (jego czystość) w wyrobisku. Z tego względu metoda czyszczenia urządzeń dołowych UCT może być stosowana w atmosferze kopalnianej.

Artykuł zostałe zrealizowany w ramach:

Projektu NCBiR POIR.01.01.01-00-0968/20-02: „Opracowanie innowacyjnej technologii czyszczenia urządzeń w warunkach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego w miejscu ich zabudowy z wykorzystaniem dwutlenku węgla w postaci stałej – UCT (Underground Cleaning Technology)".

Literatura – References

1. Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Kalita M., Tarkowski A., Nieśpiałowski K., Majewski M., Sinka T., Szkudlarek Z., Janik B.: Technologia czyszczenia elementów maszyn i urządzeń w warunkach górniczych z zastosowaniem suchych gazów. KOMTECH - Innowacyjne Techniki i Technologie w Dobie Zielonej Transformacji, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2021, s. 126-138, DOI:10.32056/KOMAG/KOMTECH2021.13, ISBN 978-83-65593-27-6.
2. Dokumentacja projektowa zespołu odbierającego zabrudzenia IT KOMAG, Gliwice 2022.
3. Kuczera Z.: Metody zwalczania zapylenia w kopalniach podziemnych jako ważny aspekt bezpieczeństwa pracy. W: XXVIII Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2019 [Dokument elektroniczny] : Kraków, 25-27.02.2019r.Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.
4. Kuczera Z., Ptaszyński B.: Zwalczanie zapylenia w górnictwie polskim. Inżynieria Mineralna Z. 2(43) 2019.
5. Kuczera Z., Ptaszyński B.: Ograniczenie zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka" S.A. Inżynieria Mineralna Z. 1(41) 2018.
6. Kuczera Z., Ptaszyński B.: Weryfikacja nowego rozwiązania technicznego ograniczającego zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka" S.A. Inżynieria Mineralna Z. 1(41) 2018.
7. Materiały udostępnione przez firmę CFT Polska.
8. Prostański D.: Zraszanie powietrzno-wodne jako metoda ograniczenia zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego oraz redukcji zapylenia powietrza. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. 2017.
9. Prostański D, Bałaga M., Kalita M., Siegmund M., Hyła P.: Badanie zapylenia w strefach zabezpieczających. Maszyny Górnicze Z.1, 2016.
10. [Raport - Opracowanie innowacyjnej technologii czyszczenia urządzeń w warunkach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego w miejscu ich zabudowy z wykorzystaniem dwutlenku węgla w postaci stałej – UCT (Underground Cleaning Technology). 1/1.1.1/2020 Szybka Ścieżka 1_2020.
11. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2018 poz. 1286.

Test of Air Dust in the Mine Conditions during Operation of a Compact Dry Deduster Prototype

In the article the problem of using an innovative solution for cleaning machines and equipment located in mining excavations using Underground Cleaning Technology (UCT) is concerned. During cleaning, an under pressure gas mixture, consisting mainly of carbon dioxide (dry ice), which sublimates and increases the cleaning efficiency, was fed. During the work, air dust from the presence of accumulation of coal and stone dust in the excavation and dust emissions from the cleaning process was created. The results of measurements of dust distribution at the workplace and its surroundings were presented in the article. The active methods to reduce air dust by a dry deduster were used during the cleaning process. The research of the air stream at the inlet and outlet of the deduster was covered. Based on the in situ measurements, the impact of the mining equipment cleaning method on the air condition in the excavation and the possibility of using UCT technology in underground mines was assessed.

Keywords: *air dust, air dust abatement, dry deduster, inhalable fraction, respirable fraction, UCT technology*

Management of the Rare Earth Elements (REE) in the Global Economy: Neodymiun Case Study

Dariusz SALA[1)], Bogusław BIEDA[2)]

[1)] Corresponding author, AGH University of Krakow, Poland, Faculty of Management, email: sala@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0003-1246-2045
[2)] AGH University of Krakow, Poland, Faculty of Management, email: bbieda@zarz.agh.edu.pl, ORCID: 0000-0003-0416-1859

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-53

Submission date: 01-11-2023 | Review date: 23-11-2023

Abstract

This study provides an overview of using rare earth elements (REEs) in global economy based on the permanent magnets consuming mainly a mixture of neodymium (Nd), praseodymium (Pr) and dysprosium (Dy), and cerium (Ce), as well as gadolinium (Gd) in much lower quantities. Actually the segment of the magnet market is the largest rare earth market (REM) by volume and will continue to outperform other market segments. In the report on „Rare Earths, Outlook to 2030" presented in Green Car Congress on the 3 February 2021 and developed by Roskill Commodity Research forecast, acquired in June 2021 by Wood Mackenzie, the leading global research, consultancy, and data analytics business powering the natural resources industry, Roskill forecasts that rare earth magnet applications will account for ~40% of total demand by 2030, raising the potential for a tight supply-demand balance for key magnetic REEs. The supply of rare earths on the US, Europe, Japan and Chinese markets is presented and discussed.

Keywords: *management of critical raw materials, rare earths (REEs), rare earth management, neodymium, rare earth magnet market, circular economy*

1. Introduction

In recent years, digital transformation and smartization projects in industrial enterprises have become increasingly popular, aiming to increase operational efficiency, productivity and sustainable development. In a situation of limited availability of key raw materials for an innovative economy, such as rare earth elements (REE), including metals used in electronic and energy devices (implementing the green economy), secondary sources of raw materials play an important role.

Smartization aims to effectively optimize resources (of all types) with an emphasis on sustainable development, which is why it can be helpful in achieving goals such as: resource optimization, emission reduction, circular economy integration, compliance with environmental regulations [4].

According to Kumari et al. [11] Neodymium (Nd) is the second most abundant rare earth elements (REEs) found in earth's crust. It is always found in Misch metals [11]. Although Nd rarely exists in nature, its negative impact on human health and environment are cited but involvement of this rare earth in discussion is caused to their wide range of applications, and as Kumari et al. [11] showed Nd's certain intolerable human actions. Moreover, Kumari et al. [11] discussed the role of the Nd in preparing neodymium-iron-boron (Nd-Fe-B) alloy which is utilized in manufacturing permanent magnets. Applications these magnets widely utilized in many areas such as vehicles components, computer hard disks, petroleum industries, wind turbines, loudspeakers, etc. are outlined in Padhan et al. [15], among others. To the best our knowledge, the Research and Markets report (2016), cited by Padhan et al. [15] estimated the global demand of these magnets to increase by 13.2% till 2022 (Research and Markets, [17]).

The JRC study (Moss et al., [13]) examines the use of 14 metals in the six low-carbon energy technologies of the EU's Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), namely: nuclear, solar, wind, bioenergy, carbon capture and storage (CCS), as well as electricity grids will require 1% or more of current world supply per annum between 2020 and 2030 (Moss et al., [13]). These 14 significant metals, in decrease order of demand for tellurium (Te), indium (In), tin (Sn), hafnium (Hf), silver (Ag), dysprosium (Dy), gallium (Ga), neodymium (Ne), cadmium (Cd), nickel (Ni), molybdenum (Mo), vanadium (V), niobium (Nb) and selenium (Se) are presented (Moss et al. [13]).

2. Rare Earths

According to Arafura Rare Earths Limited, an Australian mineral exploration company focusing on REEs, headquartered in Perth (ARE, [1]), rare earths (REs) are critical materials and essential to many important products in modern society. Demand for REs is caused by the following trends: (ARE, [2])

- Transition towards more renewable energy
- Advances in consumer electronic technology
- Low emission technology concepts
- Evolution in automotive and future mobility trends (ARE, [2])

3. NdFeB Magnet Materials – A Rapidly Growing Market

According to ARE [2] permanent NdFeB magnets, with typical content up to 30% NdPr metal (from NdPr oxide), has an influence on the automotive products and wind power energy generation industry, among others. Moreover. important uses of NdFeB magnets include also: e-bikes, consumer electronics, and robotics (ARE, [2]), air-conditioners and wind power generators (Baba et al. [5]). Most significantly demand for NdPr oxide, in the automotive sector, according to ARE [2], is driving force of growth for permanent magnet electric motors used in hybrid EVs (HEV) and battery EVs (BEV).

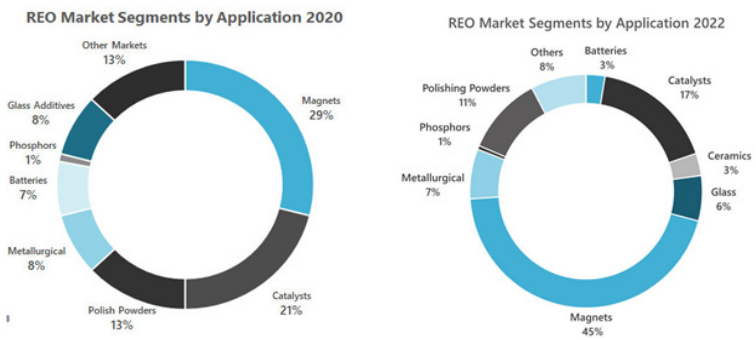


Fig. 1. REO Market in years 2020 and 2022 (Source: ARE, [2])

Rys. 1. Rynek REO w latach 2020 i 2022 (Źródło: ARE, [2])

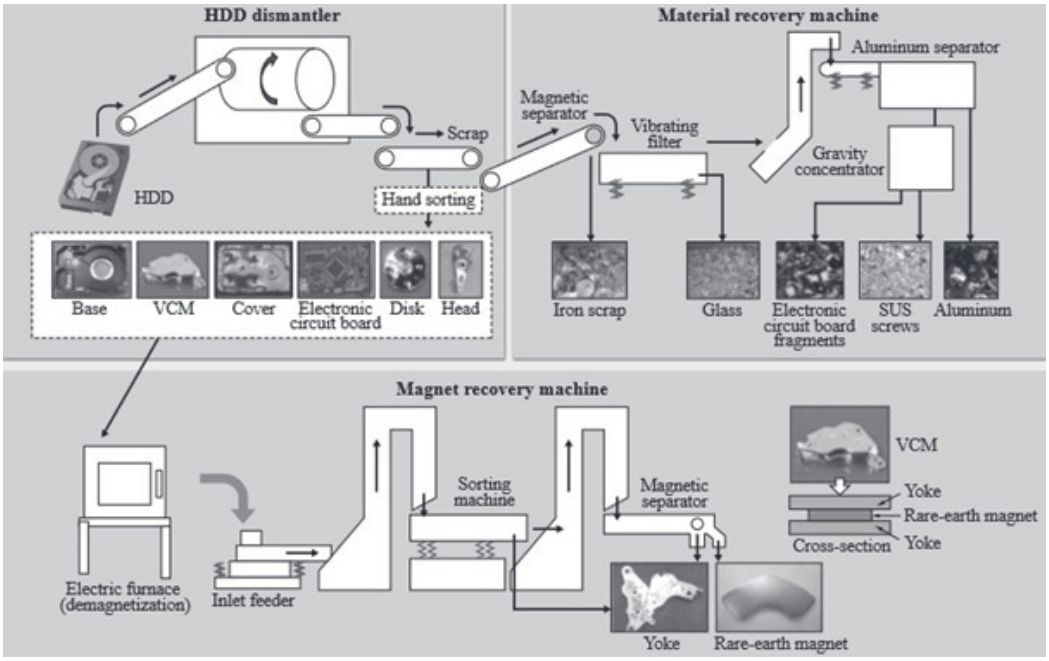


Fig. 2. Process Used to Separate and Recover Rare-earth Magnets from HDDs (where: HDD: hard disk drive VCM: voice coil motor SUS: steel use stainless) (Source: Baba et al. [5])

Rys. 2. Proces stosowany do oddzielania i odzyskiwania magnesów ziem rzadkich z dysków twardych (gdzie: dysk twardy: dysk twardy VCM: silnik cewki drgającej SUS: stal nierdzewna) (Źródło: Baba i in. [5])

Rare-earth magnets are a key material in energy saving and digital equipment such as hard disk drives (HDDs), high-efficiency air conditioners, hybrid vehicles, and wind power generators.

The magnet market segment according to ARE [2] is the largest rare earth market by volume and will continue to outpace other market segments and is expected to account for 40-50% of the Rare Earth Oxides (REO) market by the end of the decade. The REO market segment application respectively in years 2020 and 2022 is shown in Figure 1 (ARE, [2]).

The review addressed the recycling potential of NdFeB permanent magnets, the recycling and recovery of REEs (Nd, Pr, Dy, Tb) from End-of-Life (EOL) and magnets different types of metallurgical recovery methods has been discussed in Yang et al. [23].

Hitachi developed the concept and technologies of rare-earth magnets (REM) recycling and published it as a goal of an Environmental Vision, based on the environment management, and also as continuation activities pointed at the "Prevention of Global Warming", "Conservation of Resources," and "Preservation of Ecosystems". Moreover, the recycling of rare-earth magnets is a part of Hitachi's resource recycling initiatives (Baba et al. [5]).

Regarding the REM recycling and recovery activities, Hitachi has developed magnet recovery machines designed for use with specific products that contain rare earths, namely hard disk drive (HDD) and air conditioner compressors (ACC) (Baba et al. [5]).

The processes used to separate and recover the rare-earth magnets from HDD, and ACC, developed by Hitachi are given in Figure 2, and Figure 3, respectively.

Rare earths used in NdFeB magnets represent the single largest segment by application, accounting for 45%. The use of NdFeB magnets in the automotive, wind turbines and factory automation sectors are the biggest growth applications for NdPr oxide demand. The growth in NdFeB magnets since 2005 is attributed to increased use in the automotive industry, in particular electric drivetrains and electric power steering used in battery, plug-in hybrid and hybrid EVs. Passenger EVs have grown from 450,000 in 2015 to almost 10 million units in 2022 with forecast worldwide expansion of EVs predicted to grow to 34 million in 2030.

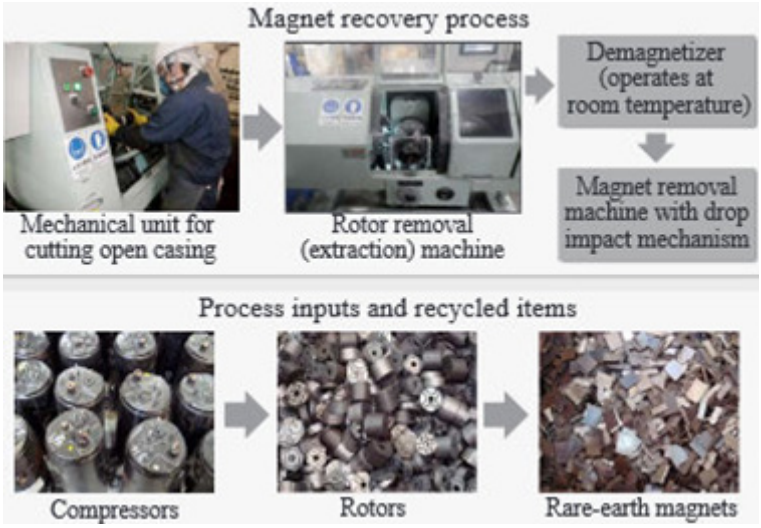


Fig. 3. Process Used to Separate and Recover Rare-earth Magnets from Air Conditioners (Source: Baba et al. [5])
Rys. 3. Proces stosowany do oddzielania i odzyskiwania magnesów ziem rzadkich z klimatyzatorów (źródło: Baba et al. [5])

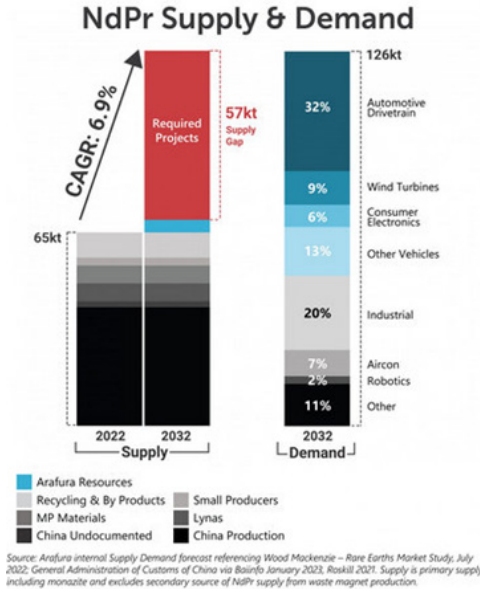


Fig. 4. NdPr supply and demand forecast (Source: WM, [22])
Rys. 4. Prognoza podaży i popytu NdPr (Źródło: WM, [22])

Global consumption of sintered NdFeB magnets in 2022 was 184,000 tonnes. NdFeB magnet consumption is forecast to grow by 5.8% per annum in the foreseeable future with demand reaching 322,000 tonnes in 2032. Use of NdFeB magnets in EVs is forecast to account for 32% of total demand by 2032 (see Figure 3). In addition to the discussion about Rare earth demand, specially Neodymium demand from magnet applications, see "Global rare earths strategic planning outlook in 2023" presented in Wood Mackenzie report (WM, [21]).

Neodymium will remain the primary focal point of the industry as demand from magnet applications grows (WM, [21]).

NdFeB magnets are considered as the strongest permanent magnets with the highest energy product BHmax (200–440 kJ/m3) of all permanent magnets [Jiles]. They are widely used in wind turbines, hybrid electric vehicles, hydro-electric turbine generators, etc. [Coey]. Figure 6 shows the proportion of the different applications around the global NdFeB market (Zhang et al., [24]).

Wood Mackenzie in "Rare earths: vital elements of the energy transition" [22] notes that the: China continues to operate in the downstream segment of the rare earth industry, increasing its share of fast-growing value-added end markets (see Figure 7). PM motors have become the motor technology of choice for many manufacturers, particularly in China, the world's largest electric vehicle market. Most PM motors in an electric passenger vehicle contain 1-3 kilograms of neodymium-iron-boron (NdFeB) magnet material, which should see automotive powertrain applications increase their share of total rare earth magnet consumption from about 16% last year to about one-third of total consumption by 2036.

In this context, the European Commission launched the ERMA Cluster on Rare Earth Magnets and Motors (EU [8]), which is managed by EIT RawMaterials GmbH (ERMA [19]). The key facts presented in the Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance Report, as results of the Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action conducted under the auspices of the European

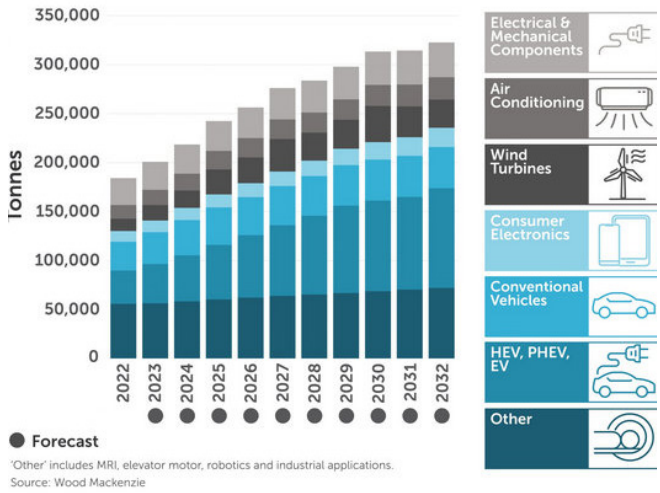


Fig. 5. Forecast NdFeB magnet consumption by segment (Source: WM, [22])
Rys. 5. Prognozowane zużycie magnesów NdFeB według segmentów (Źródło: WM, [22])

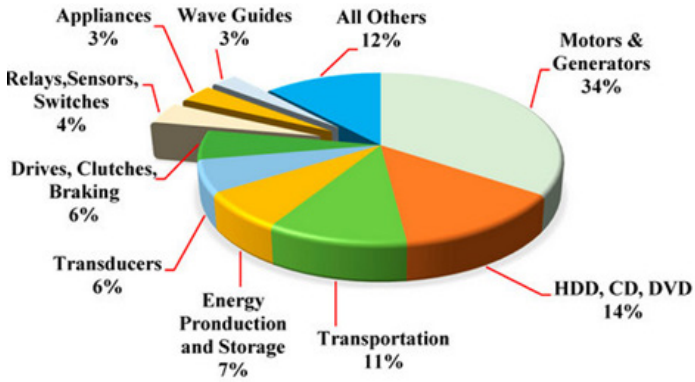


Fig. 6. The proportion of different applications around the global NdFeB magnet market, data from Shaw et al. [18]
Rys. 6. Proporcja różnych zastosowań na globalnym rynku magnesów NdFeB, dane Shaw i in. [18]

Raw Materials Alliance (ERMA) are presented below on the Figure 8 (ERMA, [19]).

Large rare earth metals recovery plants are also being built in Poland. MiningTechnology [20] reports in 2021: Mkango and Grupa Azoty initiated the construction of a rare earth metals separation installation. The new plant will produce separated neodymium/praseodymium oxides as well as heavy carbonate enriched with rare earth elements.

The new plant in Puławy is expected to produce 2,000 tonnes per annum (tpa) of separated neodymium and praseodymium oxides. It will also produce 50 tpa of dysprosium and terbium oxides in a rare earth enriched heavy carbonate [20]. This investment will result in the production of the rare earth separation plant increasing the security of supply of rare earth metals in Europe.

Mkango CEO William Dawes said: "Our integrated 'mine, refine, recycle' strategy, encompassing sustainably sourced light (NdPr) and heavy (Dy/Tb) rare earth from Malawi and rare earth magnet (NdFeB) recycling in the UK, via our interest in HyProMag, is now enhanced by the opportunity to create a rare earth separation and downstream hub in Poland, working with one of Europe's largest chemical and fertiliser companies."[20].

The objectives of the ERMA Cluster are „to secure access to sustainably produced magnet rare earths at competitive costs from primary and recycled sources; to make Europe a global leader in rare earth metal, alloys and magnet production; and to sustain and expand Europe's global leadership in electric motor and generator design. A two-fold approach was followed, that is, to identify promising investment cases as well as to recognize regulatory issues that hinder the growth of the sector in Europe" (ERMA, [19]).

4. Conclusions

Rare earth elements (REEs), especially neodymium, are crucial in many fields, especially in the manufacture of permanent magnets. The demand for permanent magnets containing neodymium is expected to increase steadily and significantly in the future due to the demand for permanent magnets used in vehicles, loudspeakers and hard drives, wind turbines, electronics, air conditioning and heating, etc. Markets such as the US, Europe, Japan and China are seeing a steady increase in demand for neodymium magnets until 2036. Due to the high demand and limited supply, it is profitable to obtain Nd from secondary sources in the process of advanced recycling.

The economic analysis of neodymium extraction allows us to understand the complex dynamics associated with this rare earth element. It is crucial to take into account the many factors that influence the market in order to better understand the development prospects, price stability, as well as possible challenges and opportunities that the economic side of the use

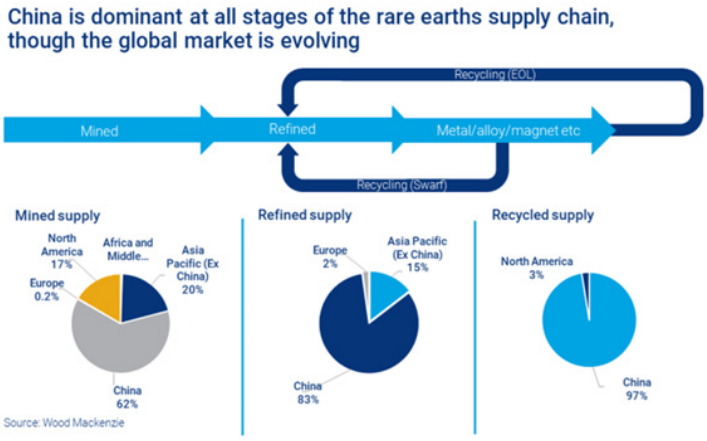


Fig. 7. China dominate on all stage of the rare earths supply chain (Source: Wood Mackenzie in "Rare earths: vital elements of the energy transition", [22])

Rys. 7. Dominacja Chin na wszystkich etapach łańcucha dostaw metali ziem rzadkich (źródło: Wood Mackenzie w "Rare earths: vital elements of the energy transition", [22])

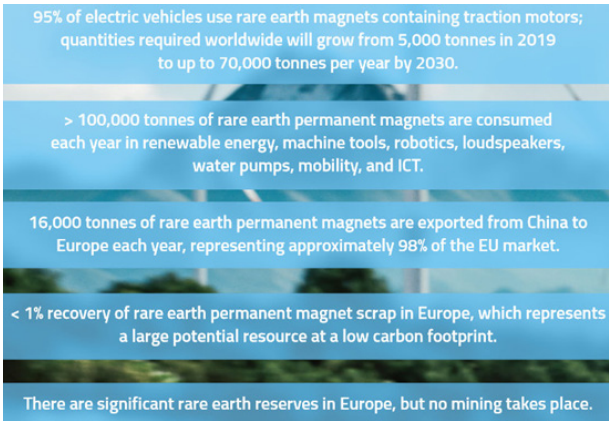


Fig. 8. ERMA Cluster Rare Earth Magnets and Motors: key facts presented in the Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance Report (Source: EREMA [19])

Rys. 8. ERMA Cluster Rare Earth Magnets and Motors: kluczowe fakty przedstawione w raporcie Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance (Źródło: EREMA [19])

of neodymium brings. The most awaited development of energy-saving sectors (eco-automotive and eco-energy) forces the acquisition of increasing quantities of NdFeB magnets for the construction and operation of electric vehicles and wind energy generators. For this purpose, clusters and other European initiatives, such as ERMA, are being set up to ensure sustainable access to rare earth elements, including Nd.

In conclusion, the analysis of neodymium as a rare earth element indicates its critical importance for the modern global economy. In the face of rapid technological development, innovation and the growing importance of renewable energy, strategies for managing this valuable resource are becoming crucial to ensure the sustainable and efficient use of neodymium in the future.

Understanding the variety of applications of neodymium and its key role in modern technologies allows us to better predict the directions of development of industries related to it. Further analysis of the impact of these applications on global markets and research into alternative solutions could be crucial for the sustainable management of neodymium resources in the future. It is already important to maintain a balance between the growing demand for neodymium and a balanced supply. In this context, forecasts for the neodymium and rare earth markets are crucial for strategic economic planning.

Increasing demand can lead to challenges in the availability of neodymium, and the lack of effective neodymium recycling systems can lead to increased waste and pressure to access new sources of raw materials. Concentrated production of neodymium in certain countries can lead to strategic dependency and exposure to market volatility, which is why it is important to develop innovative neodymium recycling technologies that reduce the environmental burden and reduce dependence on new sources. Continued research into new applications of neodymium, especially in the area of low-carbon technologies, may open up new markets and boost demand, while strengthening international cooperation in the field of research, production and management of neodymium resources reduces the risks associated with access to this raw material for global industry.

Investments in modern mining and processing technologies can contribute to the efficient use of neodymium resources and reduce environmental impact.

In the face of these challenges and opportunities, the global economy must focus on balancing economic growth with sustainable development, guided by innovation, international cooperation and effective management of neodymium resources.

Literatura – References

1. ARE, 2023, Arafura Rare Earths https://www.arultd.com/
2. ARE, 2022a, Arafura Rare Earths, Our Products. https://www.arultd.com/products/our-products/
3. ARE, 2022b, Arafura Rare Earths, Suply and Demand. https://www.arultd.com/products/supply-and-demand/
4. Bashynska I., Mukhamejanuly S., Malynovska Y., Bortnikova M., Saiensus M., Malynovskyy, Y. Assessing the Outcomes of Digital Transformation Smartization Projects in Industrial Enterprises: A Model for Enabling Sustainability. Sustainability 2023, 15, 14075. https://doi.org/10.3390/su151914075
5. Baba, K., Hiroshige, Y., Nemoto, T., (2013) Rare-earth magnet recycling. Hitachi Rev 62(8):452–455. [www.hitachi.com/rev/pdf/2013/r2013_08_105.pdf], Accessed 8 May 2023
6. Coey, J.M.D. Permanent magnet applications. J. Magn. Magn. Mater. 2002, 248, 441–456
7. Drobniak, Agnieszka & Mastalerz, Maria. (2022). Rare Earth Elements - A brief overview.. Indiana Journal of Earth Sciences. 4. 10.14434/ijes.v4i1.33628.
8. EU, European Commission 2020, Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability, COM(2020) 474 final, Brussels, 03.09.2020. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849
9. Gergoric, Marino & Barrier, Antonin & Retegan, Teodora. (2018). Recovery of Rare-Earth Elements from Neodymium Magnet Waste Using Glycolic, Maleic, and Ascorbic Acids Followed by Solvent Extraction. Journal of Sustainable Metallurgy. 5. 10.1007/s40831-018-0200-6.
10. Jiles, D. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, 2nd ed.; Chapman & Hall: New York, NY, USA, 1998
11. Kumari A., Kumar Jha M, Deo Pathak D. 2020. An innovative environmental process for the treatment of scrap Nd-Fe-B magnets. Journal of Environmental Management, Vol. 273, 111063. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111063
12. Kyere V.N., Greve K., Atiemo S.M., Amoako D., Aboh I.J.K, Cheabu B.S. 2018. Contamination and Health Risk Assessment of Exposure to Heavy Metals in Soils from Informal E-Waste Recycling Site in Ghana. Emerging Science Journal, 2(6): 428-436
13. Moss, R.L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., Kooroshy, J., 2011. Critical Metals in Strategic Energy Technologies Assessing Rare Metals as Supply - Chain Bottlenecks in Low Carbon Energy Technologies JRC Scientific and Technical Report. Publications Office of the European Union, Luxemburg. http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC65592
14. Nawshad Haque & Anthony Hughes & Seng Lim & Chris Vernon, 2014. "Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact," Resources, MDPI, vol. 3(4), pages 1-22, October. https://ideas.repec.org/a/gam/jresou/v3y2014i4p614-635d41773.html
15. Padhan E., Nayak A.K., Sarangi K. .2017. Recovery of neodymium and dysprosium from NdFeB magnet swarf. Hydrometallurgy, 174: 210-215. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.10.015
16. PRELCT, Peak Resource Enabling Low Carbon Technologies, 2020. https://minedocs.com/20/PeakResources_CP_01212020.pdf
17. Research and Markets, 2016. Guinness Centre, Taylors Lane, Dublin 8, Ireland. https://www.researchandmarkets.com/
18. Shaw, S.; Constantinides, S. Permanent magnets: The demand for rare earths. In Proceedings of the 8th International Rare Earths Conference, Hong Kong, China, 13–15 November 2012
19. The ERMA https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf
20. The Mining-Technology, 2021, https://www.mining-technology.com/news/mkango-grupa-rare-earths-poland/
21. WM, 2023, Wood Mackenzie, 2023. Global rare earths strategic planning outlook Q1 2023. https://www.woodmac.com/reports/metals-global-rare-earths-strategic-planning-outlook-q1-2023-150112824/
22. Wood Mackenzie, Rare earths: vital elements of the energy transition, 23 March 2022 https://www.woodmac.com/news/opinion/rare-earths-vital-elements-of-the-energy-transition/
23. Yang, Y., Walton, A., Sheridan, R., Güth, K., Gauß, R., Gutfleisch, O., Buchert, M., Britt-Marie Steenari, B-M, Van Gerven, T., Peter Tom Jones, P.T., Binnemans, K., 2017. REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. J. Sustain. Metall. 3:122–149. https://link.springer.com/article/10.1007/s40831-016-0090-4
24. Zhang, Y., Gu, F., Su, Z., Liu, S., Anderson, C., Jiang, T. Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Elements from NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Review. Metals 2020, 10(6), 841; https://doi.org/10.3390/met10060841

Zarządzanie pierwiastkami ziem rzadkich (REE) w gospodarce światowej: studium przypadku Neodymiun

Niniejsze opracowanie stanowi przegląd wykorzystania pierwiastków ziem rzadkich (REE) w gospodarce światowej w oparciu o magnesy trwałe zużywające głównie mieszaninę neodymu (Nd), prazeodymu (Pr) i dysprozu (Dy) oraz ceru (Ce), a także gadolin (Gd) w znacznie mniejszych ilościach. W rzeczywistości segment rynku magnesów jest największym rynkiem metali ziem rzadkich (REM) pod względem wolumenu i nadal będzie osiągał lepsze wyniki niż inne segmenty rynku. W raporcie „Rare Earths, Outlook to 2030" zaprezentowanym podczas Green Car Congress w dniu 3 lutego 2021 r. i opracowanym przez prognozę Roskill Commodity Research, nabytym w czerwcu 2021 r. przez Wood Mackenzie, wiodącą światową firmę zajmującą się badaniami, doradztwem i analityką danych, zasilającą biznes z branży zasobów naturalnych, Roskill prognozuje, że zastosowania magnesów ziem rzadkich będą stanowić ~40% całkowitego zapotrzebowania do 2030 r., co zwiększy potencjał ścisłej równowagi podaży i popytu w przypadku kluczowych magnetycznych REE. Przedstawiono i omówiono podaż pierwiastków ziem rzadkich na rynku USA, Europy, Japonii i Chin.

Słowa kluczowe: *gospodarka surowcami krytycznymi, pierwiastki ziem rzadkich (REE), gospodarka pierwiastkami rzadkimi, neodym, rynek magnesów ziem rzadkich, gospodarka o obiegu zamkniętym*

Analiza rynku złota – wybrane aspekty

Barbara KOWAL[1], Szymon PRUSAK[2], Przemysław POKUSA[3]

[1] Ph.D., DSc, Eng.; AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland; email: bkowal@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0003-4643-1140
2) student; AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland; email: sprusak@student.agh.edu.pl
3) student; AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland; email: pokusa@student.agh.edu.pl

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-54

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstrakt

Szczególnie cennymi surowcami mineralnymi są metale i kamienie szlachetne. Do metali szlachetnych zalicza się złoto, srebro i platyna, natomiast w grupie kamieni szlachetnych są m.in. diamenty, rubiny, szmaragdy, szafiry i wiele innych. Złoto jako kopalina nie odgrywa istotnego znaczenia gospodarczego, a jako metal jest mało użyteczne. Jednak od dawna stanowi symbol władzy, bogactwa i bezpieczeństwa. Ta symbolika stanowi podstawę wartości tego kruszcu.

Artykuł stanowi omówienie wybranych aspektów rynku złota. Przedstawia informacje na temat pochodzenia złota i lokalizację miejsc z największymi złożami złota na świecie. Przybliża największych producentów złota oraz czołowe kopalnie, w których poziom wydobycia stanowi prawie 12% globalnego wydobycia złota. Prezentuje możliwe kierunki wykorzystania złota, które znajduje zastosowanie głównie w branży jubilerskiej, w stomatologii oraz jako inwestycja. Dodatkowo przedstawiono społeczny i przyrodniczy aspekt wydobycia złota. Autorzy zwracają szczególną uwagę na nielegalne „kopalnie", którym obce są działania fair trade i których działalność degraduje ogromną skalę terenów lasów deszczowych.

Słowa kluczowe: *złoto, surowiec metaliczny, metal szlachetny, złoża, wydobycie, zastosowanie, odzysk, nielegalne kopalnie, rzeki złota*

1. Złoto na przestrzeni lat

W starożytności złoto uzyskiwano stosunkowo łatwo z kopalnianych warstw geologicznych. Pierwsze złote artefakty pochodzą już z IV w p.n.e. Wydobywane w Nubii, na Półwyspie Arabskim i na południowym wybrzeżu Morza Czarnego złoto już wtedy musiało stanowić obiekt pożądania [1]. W okresie Starożytnego Egiptu wydobywano tam około jednej tony tego szlachetnego metalu rocznie [2]. Nieco więcej w dużych kopalniach zlokalizowanych w obszarze Morza Czerwonego. Istniały tam, eksploatowane w okresie panowania króla Salomona (961–922 p.n.e.), kopalnie Mahd adh Dhahab („kolebka złota"), w których oprócz złota wydobywano również srebro i miedź [2]. Starożytny Rzym wprowadził nowe metody wydobycia [2]. Dzięki urabianiu hydraulicznemu pozyskiwanie złota zaczęto prowadzić na dużą skalę. Od 25 roku p.n.e. eksploatowano złoża leżące na terenie obecnej Hiszpanii, a od 106 roku n.e. położone w Dacji. Do największych kopalń należały te zlokalizowane w Las Médulas w prowincji León. Pisał o nich już pod koniec pierwszego wieku naszej ery Pliniusz Starszy w encyklopedii Historia Naturalis. Wykorzystywano złoża położone w Roşia Montană w Transylwanii (Siedmiogród) i mniejsze leżące w Brytanii. W okresie imperium rzymskiego produkcja złota osiągała już od 5 do10 ton rocznie [3].

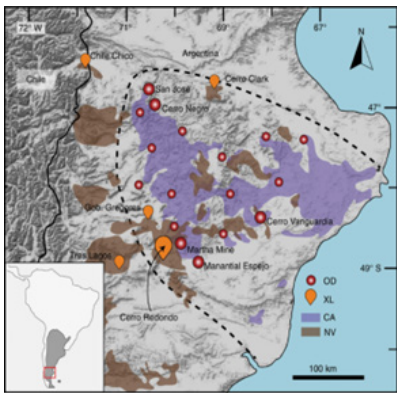
Pragnienie posiadania złota wzrastało z czasem i stanowiło jeden z motorów eksploracji Ameryki Łacińskiej przez poszukujących mitycznego złotego miasta – el Dorado – Europejczyków [4]. Wiek XIX przyniósł wręcz epidemię gorączki złota na terenie Ameryki Północnej. Pierwszym, w pełni udokumentowanym, odkryciem terenów złotonośnych w Stanach Zjednoczonych były żyły złota w Reed Gold Mine w Midland w Karolinie Północnej, które spowodowały wybuch gorączki złota w 1803. Kolejne pojawiały się okresowo od 1848 roku na terenie Kalifornii. Tylko w tym rejonie w 1851 roku wydobyto 77 ton złota. Skutkiem był gwałtowny wzrost światowej produkcji złota, która w 1852 roku osiągnęła wielkość około 280 ton [2].

2. Teorie pochodzenia złota

Przez wiele lat świat naukowy zdawał się skłaniać ku teorii, w myśl której ziemskie złoto ma dwa źródła pochodzenia. Jego znakomita większość pochodzi z okresu formowania się Układu Słonecznego z pyłu kosmicznego od początku i wchodziła w skład masy Ziemi jak inne pierwiastki. Jako cięższe od wielu innych składników, w okresie formowania się planety, całe złoto spłynęło do jej jądra i tam pozostaje do dziś. Złoto, które udaje się wydobywać miało być skutkiem swoistego „zbombardowania" powierzchni już po ustabilizowaniu się jądra przez meteoryty. Tłumaczyło to fakt pokładów złota znajdującego się bliżej powierzchni [5]. Nowe światło na tą geologiczną zagadkę rzucili naukowcy z różnych krajów pracujący w ramach projektu hiszpańskiego Uniwersytetu w Grenadzie. Wyniki swojej pracy badacze opublikowali w 2017 r. na łamach czasopisma „Nature Communications" [6] (Rys.1).

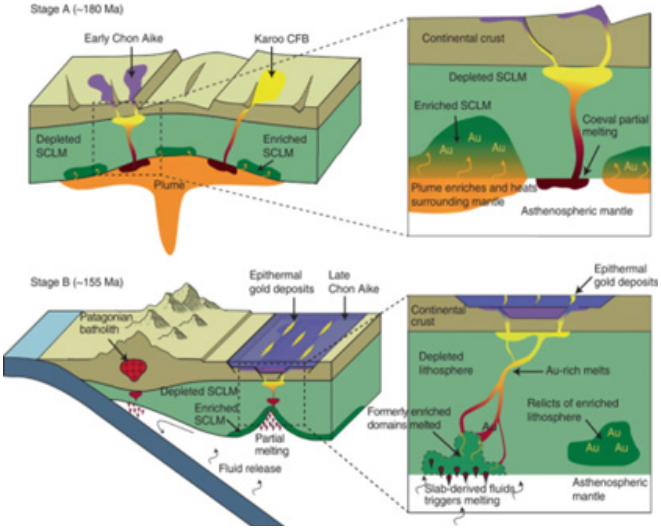
W artykule przedstawili tezę wraz z bogatym zestawem dowodów, że złoto znajdujące się w zewnętrznej warstwie planety pochodzi z jej wnętrza. Wyniesione zostało ono na powierzchnię przez tzw. pióropusz płaszcza ziemskiego [6]. Podstawą tej koncepcji były badania odnalezionych jako jedne z pierwszych na kontynencie południowoamerykańskim głębokich podziemnych warstw złota, osadzonych 70 km pod powierzchnią w argentyńskiej Patagonii w regionie Masywu Deseado [6].

Region ten należy do największych złotonośnych regionów świata, a jego kopalnie są eksploatowane do dziś. Dzięki bardzo wysokiej koncentracji złota, naukowcy określili po-



Rys. 1. Uproszczona mapa geologiczna południowej Patagonii w Argentynie. Źródło: [6]; CA – sekwencje wulkaniczne Chon Aike, NV – wulkanizm neogenu, OD – najważniejsze złoża rudy, XL – lokalizacja różnych stanowisk ksenolitu w masywie Deseado i okolicach

Fig. 1. Simplified geological map of southern Patagonia in Argentina. Source: [6]; CA – Chon Aike volcanic sequences, NV – Neogene volcanism, OD – major ore deposits, XL – location of various Xenolith sites in and around the Deseado massif



Rys. 2. Wynoszenie złota do wyższych partii skorupy ziemskiej przez pióropusz płaszcza. Źródło: [6]

Fig. 2. Transport of gold to higher parts of the Earth's crust by the mantle plume. Source: [6]

wody dla których złoża minerałów są zwykle ograniczone do niektórych regionów świata o podobnej historii geologicznej. Koordynator badań J. González wskazuje jako źródło złóż złota w Argentynie, mające miejsce 200 milionów lat temu, rozdzielenie jednego kontynentu jaki stanowiły wtedy Afryka i Ameryka Południowa.

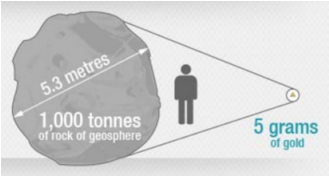
Spowodował to wznoszący się strumień nagrzanej materii (pióropusz płaszcza), który rozbił kruchą skorupę i doprowadził do rozdzielenie kontynentów. Wznoszenie się przez cały płaszcz Ziemi pióropusza pochodzącego z głębszej części wykreowało warunki sprzyjające chemicznie wzbogaceniu płaszcza o metale, z czasem nawet do wytworzenia złóż złota. Występujące później ruchy nachodzących na siebie płyt tektonicznych wyniosły część metali jeszcze wyżej i skoncentrowały w niektórych regionach skorupy ziemskiej [6] (Rys. 2).

Wytłumaczenie pochodzenia złota w skorupie ziemskiej jest niewątpliwie ważnym zagadnieniem geologicznym, ale z punktu widzenia ekonomii i rynków istotnym jest fakt, że mimo ogromnych ilości złota w jądrze Ziemi nie istnieje metoda jego pozyskania, a złoża do których ludzkość ma dostęp są już na wyczerpaniu. Naukowcy twierdzą, że przy obecnym poziomie wydobycia wystarczy go jeszcze na maksymalnie 50 lat [7]. Jednym z faktów dotyczącym złota, opublikowanym przez [8], jest to że na każde 1000 ton skorupy ziemskiej przypada 5 gramów złota (Rys. 3).

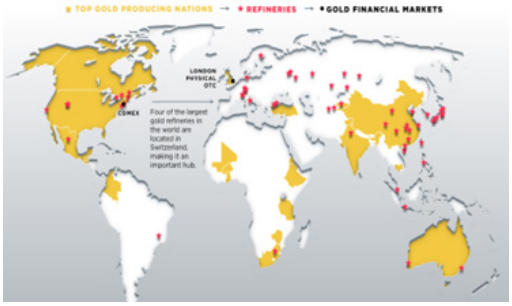
Zlokalizowane na niewielkich głębokościach złoto występuje najczęściej w postaci stopu złota ze srebrem. Zawartość złota wacha się w nich najczęściej od 8% do 10%. Te najbogatsze w złoto, zwane elektrum są postacią złota pierwiastkowego o zawartości srebra od 18 do 36% [9].

Złoto rodzime odnajdywane jest w postaci płatków, ziaren lub większych bryłek, tzw. samorodków, które na skutek erozji skał znalazły się w złożach aluwialnych (złoża okruchowe). W większości złoto znajdowane jest w rudach złożonych ze skał o bardzo małej lub mikroskopijnej zawartości tego pierwiastka. Takie rudy złota często występują z kwarcem lub siarczkami, takimi jak „złoto głupców", czyli piryt. Złoża zawierające takie rudy nazywane są złożami żyłowymi [7]. Czasami złoto występuje w połączeniach z tellurem. Do minerałów zawierających taki stop należą kalaweryt, krenneryt, nagyagit, petzyt i sylvanit bizmutek maldonit (Au2Bi) oraz antymonek aurostibit (AuSb2). Złoto może występować również, choć bardzo rzadko, w stopach z miedzią, ołowiem i rtęcią jako minerały: auricupryd (Cu3Au), novodneprit ($AuPb_3$) i weishanit ($(Au, Ag)_3Hg_2$) [7].

W procesie tworzenia się złóż złota istotną rolę mogą odgrywać mikroby. Przemieszczają one i strącają złoto, tworząc



Rys. 3. Ile złota znajduje się skorupie ziemskiej. Źródło: [8]
Fig. 3. How much gold is there in the earth's crust. Source: [8]



Rys. 4. Lokalizacja złóż złota na świecie. Źródło: [11]
Fig. 4. Location of gold deposits in the world. Source: [11]

ziarenka i bryłki, które następnie odkładają się w złożach aluwialnych. Badania naukowców z Uniwersytetu Stanowego w Michigan doprowadziły do odkrycia bakterii, która potrafi rozkładać związki złota na czysty kruszec, a naukowcy z Australii zbadali procesy molekularne, z których korzysta bakteria ze szczepu Cupriavidus metallidurans. Zaobserwowali oni, że bakteria ta potrafi tworzyć maleńkie drobinki złota. Wyniki badań opublikowali w czasopiśmie „Metallomics" [10].

3. Występowanie złota na świecie

Miejscami występowania największych złóż złota na świecie są: Południowa Afryka – okolice Johannesburga (zasoby oceniane na około 70 tys. ton), Rosja – Ałdan, Kołyma, Ural, Australia – Kalgoorlie, Chiny, Stany Zjednoczone, Kanada, Indonezja – Grasberg, Ertsberg, Uzbekistan, Peru, Ghana, Kirgistan [11] (Rys. 4).

Największym pojedynczym obszarem złotonośnym w historii był basen Witwatersrand w Republice Południowej Afryki. Pochodzi stamtąd około 30% całego wydobywanego złota. Innymi ważnymi źródła tego kruszcu są: niezwykle głęboka kopalnia Mponeng w Afryce Południowej, kopalnie Super Pit i Newmont Boddington w Australii, indonezyjska kopalnia Grasberg oraz kopalnie w Nevadzie w USA [11].

Złoto wydobywane jest w kopalniach głębinowych w strefie zimnej, (Rosja, USA, RPA) oraz w kopalniach odkrywkowych w strefie gorącej (Afryka, Azja południowowschodnia, Ameryka Południowa). Szacuje się, że około 60% światowych operacji wydobywczych to kopalnie odkrywkowe. Pozostałą część stanowią kopalnie podziemne [5].

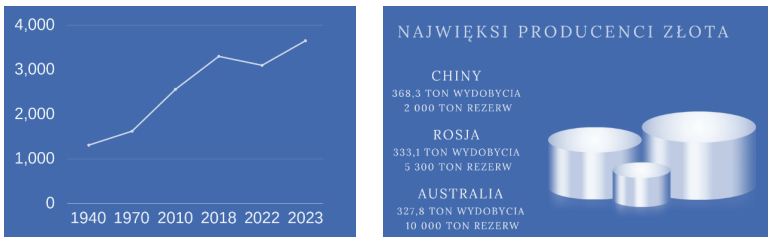
US Geological Survey szacuje całkowite podziemne zasoby złota na Ziemi na ponad 50 000 ton, do wydobycia pozostało około 20%. Jednak, mimo otwierania nowych kopalni odkrycia dużych złóż są coraz rzadsze, a większość produkcji złota pochodzi z kopalń użytkowanych od dziesięcioleci. „Łatwe złoto zostało już odkryte, a odkrywcy muszą kopać głębiej, aby znaleźć opłacalne ekonomicznie złoża" [12]. Pozostało już niewiele regionów niezbadanych pod względem złóż złota, a te najbardziej obiecujące znajdują się w obrębie najbardziej niestabilnych części świata, na przykład w Afryce Zachodniej [5].

Obecnie wydobyciem złota zajmuje się 70 krajów [12]. Według Światowej Rady Złota (WGC) światowa produkcja złota ciągle wzrastała w ostatnich latach aż do 2018 roku (Rys. 5a). Późniejsze lata przyniosły nieznaczny spadek. Spowolnienie produkcji spowodowane było okresem pandemii, a także kurczącymi się zasobami kruszcu. Z danych przedstawionych przez Światową Radę Złota w lutym br. wynika, że światowe zasoby złota naziemnego na świecie (już wydobytego oraz znajdującego się obecnie w obiegu w postaci biżuterii, monet, sztabek oraz złota przeznaczonego do zastosowań przemysłowych) oszacowano na ok. 208 874 ton [13]. Według danych opublikowanych w lipcu br. największymi producentami złota na świecie są: Chiny, Rosja i Australia (Rys. 5b).

Chiny po raz dziewiąty z rzędu zajmują czołowe miejsce wśród dziesięciu największych producentów złota z 368,3 tonami wydobytego złota (co stanowi 11% światowej produkcji górniczej), dodatkowo posiada 2 tys. ton rezerw. Rosja uzyskała poziom wydobycia równy 333,1 ton, a Australia 327,8 ton. Wśród tej dziesiątki znalazły się również: Stany Zjednoczone (190,2 tony), Kanada (170,6 ton), Ghana (138,7 ton), Brazylia (107,0 ton), Uzbekistan (101,6 tony), Meksyk (101,6 tony), Indonezja (100,9 ton).

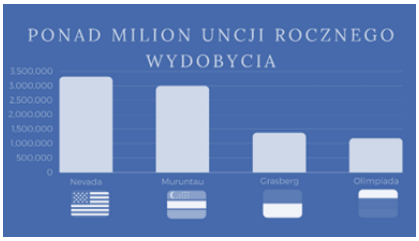
Z kolei czołowe miejsca w rankingu największych kopalni złota na świecie zajęły [14] (Rys. 6):

- Nevada Gold Mines – największy kompleks sześciu kopalń, które wydobywają ponad 3,3 miliona uncji rocznie (2,9% światowego wydobycia),
- Muruntau w Uzbekistanie – państwowa kopalnia, jedna z najgłębszych kopalni odkrywkowych na świecie, wydobywa prawie 3 miliony uncji (2,6% światowego wydobycia),
- Grasberg w Indonezji – oprócz wydobycia złota, jest także jedną z największych kopalni miedzi na świecie, produkcja prawie 1,4 miliona uncji złota (1,2% światowego wydobycia),
- Olimpiada w Rosji – należy do Polyus'a czyli rosyjskiego giganta wydobywczego złota, produkcja prawie 1,2 miliona uncji złota (1% światowego wy-



(a) (b)

Rys. 5. Światowe wydobycie złota [tony] (a) oraz najwięksi producenci złota na świecie (b). Opracowanie własne
Fig. 5. World gold production [tons] (a) and the largest gold producers in the world (b). Own study



Rys. 6. Pierwsze cztery największe kopalnie świata według produkcji złota w 2021 roku [uncje]. Opracowanie własne na podstawie [14, 15].
Fig. 6. The first four largest mines in the world by gold production in 2021 [ounces]. Own study based on [14, 15].

dobycia); sama kopalnia posiada 26 milionów uncji rezerw złota, natomiast Polyus posiada ponad 104 miliony uncji złota (największa firma górnicza pod względem rezerw złota na świecie).

Do dziesięciu czołowych kopalni produkujących poniżej miliona uncji złota, oprócz już wymienionych, należą również: Pueblo Viejo (Republika Dominikany), Kibali (Demokratyczna Republika Konga), Kadia (Australia), Lihir (Papua Nowa Gwinea), Kanadyjski Malartic (Kanada) oraz Boddington (również Australia), produkuje razem 13 393 849 uncji złota, co odpowiada za 11,7% światowego wydobycia złota.

4. Inne źródła pochodzenia złota i jego zastosowanie

Wielu specjalistów wskazuje, że w przeciwieństwie do nieodnawialnych zasobów takich jak np. ropa, złoto można poddać recyklingowi. Duże ilości złota są zamrożone w produktach elektronicznych takich jak np. smartfony i telefony starszej generacji, pamięć RAM oraz płyta główna komputera. Aby uzyskać ok. 340–400 gramów złota potrzebna jest tona starych telefonów, przy czym tona telefonów komórkowych to około 8 tys. sztuk [16, 17, 18]. Z jednej tony telefonów komórkowych można odzyskać więcej złota niż wydobyć z jednej tony rudy [19].

Złoto również jako dobry przewodnik elektryczny wykorzystywane jest w przemyśle elektronicznym. Znajduje zastosowanie przy produkcji różnych podzespołów, do pokrycia styków czy elementów procesorów. Złoto możemy znaleźć w komputerach, magnetowidach, sprzęcie AGD czy audio.

Eksperci wskazują, że działania mające na celu recykling złota wydobywanego z odpadów elektronicznych są obecnie bardzo zaawansowane. „Odzyskiwanie metali szlachetnych z elektroniki to dziś prawdziwy biznes" [16]. Można zatem traktować odpady elektroniczne jako kolejne źródło pozyskiwania tego metalu [5].

Z danych przedstawionych przez firmę Trustable Gold roczne zużycie złota kształtuje się na poziomie 4 060 ton. Ponad 48% (1 960 ton) wykorzystywane jest w branży jubilerskiej, 40,4% (1 640 ton) jako inwestycja oraz 11,3% w technologii, głównie w stomatologii (Rys. 7).

Ze względu na swoje właściwości (odporność na korozję, doskonałe przewodnictwo prądu – nawet po długim czasie użytkowania, nie reaguje z tlenem i nie zmienia swego koloru), złoto znajduje zastosowanie również w produkcji światłowodów, układów tranzystorowych czy półprzewodników, jak również wykorzystywane jest w laboratoriach pełniąc rolę izolatora w teleskopie Hubble'a [18].

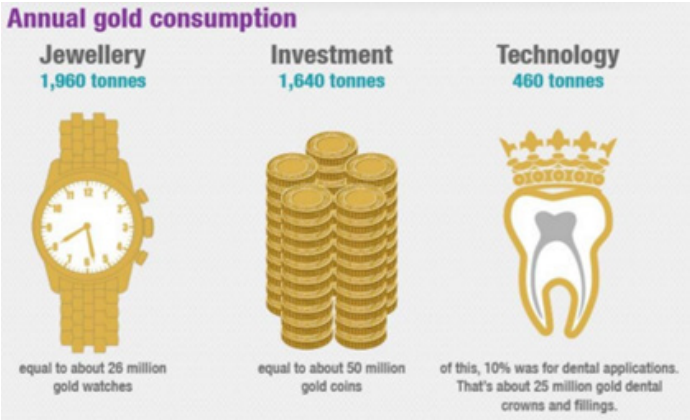
5. Społeczny i przyrodniczy aspekt wydobycia złota

Ostatnie lata przyniosły zwiększenie świadomości społecznej w krajach wysokorozwiniętych. Konsumenci zaczęli zwracać uwagę na sposób pozyskiwania

i przetwarzania różnego rodzaju dóbr. Tendencja ta nie ominęła rynku dóbr luksusowych. Nieuniknione stały się pytania o ciemną stronę złota.

W wielu miejscach świata pozyskanie kruszcu odbywa się nielegalnie. Ma to miejsce między innymi na terenie Amazonii, zwłaszcza w Wenezueli czy Brazylii. Zdecydowana większość pracujących tam ludzi to osoby mające niewiele wspólnego z górnictwem, często osoby nieletnie. Nazywają samych siebie „poszukiwaczami", lecz tak naprawdę są walczącymi o przetrwanie współczesnymi niewolnikami. Nie dość, że wynagrodzenia takich pracowników są niskie, to dodatkowym problemem są złe warunki – są oni narażeni na kontakt ze szkodliwą dla zdrowia rtęcią i cyjankiem, które stosuje się w procesie wydobycia złota [20, 21].

Szacuje się, że na terenie Amazonii funkcjonuje co najmniej 2300 takich nielegalnych „kopalni" [21, 22]. Degradują one na ogromną skalę tereny lasów deszczowych. Nielegalne kopalnie, którym obce są działania fair trade, wytwarzają duże ilości toksycznych odpadów kopalnianych, zrzucanych w postaci ścieków są do oceanów, rzek i innych naturalnych zbiorników wodnych. Tym samym wpływają na jakość wody pitnej na ogromnym obszarze, nieraz oddalonym od źródeł zatrucia o setki kilometrów. Do wody dostają się takie chemikalia jak arsen, ołów, rtęć, produkty uboczne ropy naftowej, cyjanek, a także różnego rodzaju kwasy [23].



Rys. 7. Kierunki wykorzystania złota. Źródło: [8]
Fig. 7. Directions of gold use. Source: [8]

Rys. 8. „Rzeki złota" w Peru. Źródło: [24]
Fig. 8. "Rivers of gold" in Peru. Source: [24]

Skalę nielegalnego wydobycia złota w amazońskim lesie deszczowym w Peru ujawniła Agencja kosmiczna po opublikowaniu przez NASA zdjęcia zrobionego z pokładu Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) w dniu 24 grudnia 2020 roku (Rys. 8). Uchwycone „rzeki złota" to w rzeczywistości doły, w których przez setki lat odkładały się cenne minerały i nielicencjonowani górnicy prowadzili tam wykopaliska. To szlaki starych rzek, które zostały oświetlone na zdjęciu odbitym światłem słonecznym. Tak zwane „Rzeki złota" pokazują skalę niszczycielskiego wydobycia złota w regionie Madre de Dios w południowo-wschodnim Peru.

Badania przeprowadzone przez Monitoring of the Andean Amazon Project pokazały, że w 2018 roku wylesienie w wyniku wydobycia złota zniszczyło ok. 10 tys. hektarów peruwiańskiej Amazonii, a w 2019 roku rząd Peru zatrzymał gorączkę złota wydalając 5 tys. górników [25, 26]. W 2020 roku wylesienie sięgnęło poziomu ok. 4 mln ha lasów tropikalnych.

Nieekologiczne i nieetyczne pozyskiwanie rud złota stanowi ogromne zagrożenie dla bioróżnorodności. W pobliżu Parku Narodowego Lorentz w indonezyjskiej prowincji Papua Zachodnia rozpoczęto intensywne wydobycie złota i miedzi. Eksploatacja tych złóż doprowadziła do skażenia wód Morza Arafura i rzeki Ajikwa oraz wywołała śmiertelne osuwiska. Na terenie parku zginęło wiele zwierząt i roślin [23].

Etyczne wydobycie rud złota i jego produkcja są możliwe. Podstawowymi warunkami są: wyłączenie z eksploatacji terenów wykazujących wysoką wartość ekologiczną, mających cenny ekosystem oraz obszarów chronionych, a także działanie zgodne z rygorystycznymi standardami odpowiedzialnego górnictwa (maksymalna redukcja w procesie pozyskiwania złota toksycznych chemikaliów będących zagrożeniem zarówno dla środowiska, jak i ich zdrowia).

Nielegalne i całkowicie nieetycznie wydobywane złoto trafia niestety na rynek, w tym również do znanych oraz cenionych sprzedawców. Dlatego weryfikacja pochodzenia kruszcu jest niezwykle istotna. Ważne jest, by nabywcy zwracali uwagę na pochodzenie kupowanego kruszcu i korzystali jedynie z tzw. etycznego złota [21, 27].

6. Podsumowanie

Złoża złota znajdują się prawie na każdym kontynencie. Najczęściej metal ten kojarzony jest z branżą jubilerską, dla której rocznie przeznaczane jest ok. 50% wydobytego złota. Ten hipnotyzujący blask biżuterii opada, gdy pojawia się niezmiernie ważny problem nielegalnych kopalni złota. Ich działalność nie ma nic wspólnego z działaniami fair trade. Nie tylko wykorzystują one ludzi, degradują ogromną skalę terenów leśnych, ale również wytwarzają duże ilości toksycznych odpadów kopalnianych, które zanieczyszczają wody i powodują wyginięcie wielu gatunków zwierząt i roślin. Przy pozyskaniu ilości złota na zaledwie jedną obrączkę taka nielegalna kopalnia może wygenerować do 20 ton takich odpadów. Mając na uwadze wzrost świadomości społeczeństwa i większe zaangażowanie w ochronę środowiska, recykling wydaje się dobrym sposobem na odzysk złota zamrożonego w produktach elektronicznych. Nie wpłynie to jednak na fakt, że w powszechnej opinii złoto jest metalem będącym najtwardszą z walut, odporną na dekoniunkturę i polityczno–gospodarcze zawirowania, ma status tradycyjnego zabezpieczenia przez wahaniami gospodarczymi. Może warto więc pomyśleć o zainwestowaniu w złoto już teraz, gdy jeszcze jego zasoby znajdują się na wysokim poziomie.

This paper was supported by the AGH University of Science and Technology [No. 16.16.100.215].

Literatura – References

1. Hammer, S. (tł.): Herodot: Dzieje, Księga Pierwsza: Klio, Wydawnictwo Czytelnik, Warszawa 1959. https://edukacja.3bird.pl/download/archeologia/archeologia-herodot-dzieje.pdf, 20.02.2023.
2. Moore, M. A.: Reed Gold Mine State Historic, Office of Archives and History, North Carolina 2006.
3. Hartill, D.: Cast Chinese Coins, Trafford Publishing, Victoria, Kanada 2007.
4. Sierakowska, D.: Świat surowców, Dom Maklerski Banku Ochrony Środowiska, Warszawa 2016.
5. Bethell, T.: Crazy as o GoldBug, New York (New York Media), nr 13 (5), 1980.
6. Tassara, S., González-Jiménez, J.M., Reich, M. et al. Plume-subduction interaction forms large auriferous provinces, Nat Commun 8, 843 (2017). https://doi.org/10.1038/s41467-017-00821-z, 20.12.2023.
7. Mikulski, S.Z., Oszczepalski, S., Wojciechowski, A.: Weryfikacja stanu wiedzy o złożach złota wraz z aktualną oceną perspektyw złożowych, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2011.
8. Trustablegold: Infographic Gold Facts. https://www.trustablegold.com/infographic-gold-facts/, 20.11.2023.
9. Elektrum. https://www.wikiwand.com/pl/Elektrum, 20.11.2023.
10. Wernicki, P.: Złotodajne bakterie. https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C1273391%2Czlotodajne-bakterie.html, 25.11.2023.
11. https://www.transparency-initiative.org/tai-weekly/6755/we-are-back/attachment/gold-diggers-visual-impact-tai-weekly/, 05.12.2022.
12. Renata: Jacy są najwięksi producenci złota? https://goldhub.pl/jacy-sa-najwieksi-producenci-zlota/, 23.11.2023.
13. Wiedza IDF Metale, Zasoby złota na świecie, jego wydobycie i występowanie. https://idfmetale.pl/wpis/zasoby-zlota-na-swiecie-wydobycie-wystepowanie, 28.11.2023.
14. ArtG, Dziesięć największych kopalni złota na świecie. https://goldhub.pl/dziesiec-najwiekszych-kopalni-zlota-na-swiecie/, 23.11.2023.
15. Conte, N.: Mapped: The 10 Largest Gold Mines in the World, by Production. https://elements.visualcapitalist.com/largest-gold-mines-by-production/, 23.11.2023.
16. Różański, M.: W tych rzeczach jest złoto. I to całkiem sporo! Stare komputery, komórki, telewizory, karty SIM. https://gazetawroclawska.pl/w-tych-rzeczach-jest-zloto-i-to-calkiem-sporo-stare-komputery-komorki-telewizory-karty-sim/ar/c3-17296685, 25.11.2023.
17. Odzyskiwanie złota z elektroniki - czy jest to opłacalne? https://www.elektroinzynieria.pl/wiadomosci-i-komunikaty/odzyskiwanie-zlota-z-elektroniki-czy-jest-to-oplacalne--153324-10#_, 25.11.2023.
18. Ile jest warte złoto z elektroniki? https://mennicazielona.com/3341-2/, 25.11.2023.
19. Złoto - kompendium wiedzy i ciekawostki o złocie. https://www.sklepjubilerski.com/porady-ekspertow/zloto-historia-magia-i-cechy-tegokruszcu, 27.11.2023.
20. Złoto. https://www.fairtrade.org.pl/fairtrade/produkty-i-producenci/zloto/, 27.11.2023.
21. Etyczne złoto – uczciwie, ekologicznie i z Polski. https://www.mennica.com.pl/produkty-inwestycyjne/poradnik-inwestora-lista/etyczne-zloto-uczciwie-ekologicznie-i-z-polski, 27.11.2023.
22. El Comercio, D., Kędzierska, J.: W Amazonii istnieje co najmniej 2300 nielegalnych kopalni. https://biznesalert.pl/w-amazonii-istnieje-co-najmniej-2300-nielegalnych-kopalni/, 27.11.2023.
23. Rifai-Hasan, P. A.: Development, Power, and the Mining Industry in Papua: A Study of Freeport Indonesia, Journal of Business Ethics, vol. 89, 2009, pp. 129–43. JSTOR, http://www.jstor.org/stable/27749763, 19.02.2023.
24. Kowal, A. Burze słoneczne mają zaskakująco lokalny charakter. To wielki problem. https://www.focus.pl/artykul/burze-sloneczne-zaskakujaco-lokalny-charakter, 27.11.2023.
25. Modzelewska, K. Unikalne zdjęcia NASA. Pokazują "rzeki złota" Amazonii. https://fotoblogia.pl/unikalne-zdjecia-nasa-pokazuja-rzeki-zlota-amazonii,6794341251114625a, 27.11.2023.
26. Uchwycono „rzeki złota" w peruwiańskiej Amazonii. NASA wyjaśnia: to błotniste baseny. https://www.focus.pl/artykul/peru-maski-w-grobie-stanowisko-pachacamac, 27.11.2023.
27. Zintegrowany Raport Roczny 2021. KGHM Polska Miedź.

Gold Market Analysis – Selected Aspects

Metals and precious stones are precious mineral raw materials. Precious metals include gold, silver, and platinum, while the group of precious stones includes, among others: diamonds, rubies, emeralds, sapphires, and many others. Gold as a mineral has no significant economic importance and as a metal, it is of little use. However, it has long been a symbol of power, wealth, and security. This symbolism is the basis of the value of this precious metal.

The article discusses selected aspects of the gold market. It presents information on the origin of gold and the location of places with the largest gold deposits in the world. It presents the largest gold producers and leading mines, where the level of extraction accounts for almost 12% of global gold mining. It presents possible directions for the use of gold, which is used mainly in the jewelry industry, in dentistry, and as an investment. Additionally, the social and natural aspects of gold mining were presented. The authors pay particular attention to illegal "mines" that do not comply with fair trade activities and whose activities degrade a large scale of rainforest areas.

Keywords: *gold, metallic raw material, precious metal, deposits, mining, use, recovery, illegal mines, gold rivers*

The Effectiveness of Some Coal-Based Mineral Compositions in the Decontamination and Environmental Protection of the Small Urban Rivers' Watery

Sergiy BORUK[1], Vasyl KULISH[2], Igor WINKLER[3], Olena BORUK[4], Vitaliy KOCHAN[1]*

[1] Yu Fedkovych National University of Chernivtsi, Ukraine
[2] LLC "Aqua-holding", Dnipro, Ukraine
[3] Bucovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine; correspondence author: winkler@bsmu.edu.ua
[4] Grenoble Alpes University , France

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-55

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

The effectiveness of the "T"-brand coal processing sludge, technical pyrocarbon, and their mixture as adsorbents for the decontamination of drainage water from organic pollutants has been investigated. The contaminated water samples were collected from the ordinary car filling/service station's drainage system and then treated with the adsorbents. Water absorbance and chemical oxygen demand (COD) were controlled as the water quality and decontamination effectiveness parameters.

A 4:1 mixture of coal refinery sludge and technical pyrocarbon was used as the most efficient adsorbent for mixed petrochemical and mechanical pollution agents. It has been found that this composition effectively decontaminates water from mixed organic pollutants. The water cleaning cartridges filled with this composition of adsorbents showed high decontamination performance eliminating about 85 % of petrochemical water pollution agents. This performance does not degrade much, and a 4 kg adsorbent load should be sufficient to treat an amount of wastewater formed at the car filling station for at least one month.

Keywords: *small urban rivers, oil-contaminated water, adsorption water treatment, mixed coal adsorbents, pyrocarbon*

Introduction

A significant part of the total water contamination comes from various low-capacity sources such as isolated local drainage systems, car filling, washing and service stations, industrial and agricultural storage facilities, and other objects not connected to the centralized sewage system. The impact of each such facility may not be serious as it does not produce a significant amount of pollution, but when several of them discharge their waste/drainage water into the same small river or stream, the cumulative effect can be devastating [1–3]. Oil-containing wastewaters are especially dangerous, and the irregular character of their discharge additionally increases their environmental threat.

Small enterprises like car filling stations usually are not equipped with the specific water treatment units to catch or clean the oil components and, as a result, their wastewater and/or drainage water are discharged to the local household sewage system or even to the nearby water bodies without any specific treatment. Many small urban rivers and ponds turned into dead water bodies because of this practice [4, 5].

It should be noted that mixing and dilution of the drainage/wastewater can bring the content of toxic compounds close to or within the sanitary standards; however, this approach does not decrease the total amount discharged to the river or stream nor does it ease the anthropogenic load. Small rivers bring pollutions to the larger rivers they merge with and, as the transport network develops, this problem becomes more and more acute.

Typical car service/filling/washing station discharges 0.7–1.2 m^3 of untreated wastewater per day with the content of suspended particles 800–3000 mg/L (up to 0.3%) and 500–900 mg/L (up to 0.09%) of oil products. The maximal permissible concentration (MPC) of these agents in the treated wastewater before discharging should be under 0.75 and 0.3 mg/L, respectively [6]. Full-scale water treatment equipment cannot be effective for cleaning such a small amount of wastewater, while smaller mobile water treatment modules can be considered as a better solution. Given the nature of typical water pollution agents, the mosaic surface coal-like materials should be effective adsorbents for such modules. High adsorption effectiveness of various coal-like materials was reported for some individual organic pollutants [7, 8] and mixed petrochemical pollutions [6, 9, 10]. As found previously [6], a 4:1 mixture of coal refinery sludge and technical pyrocarbon is quite effective in various applications designed to extract organic water contamination agents. Both components are readily available as by-products from the coal refinery and organic waste incineration facilities [11]. It should also be noted that petrochemical pollution agents are traditionally considered to be poorly soluble in water components, which are found in the surface layer. However, rather a significant solubility may be reached due to other chemicals present in the mixture. As a result, part of the petrochemical pollutants can be transferred into the bulk of the liquid phase. This process can be realized by the "bridging" of organic compounds adsorbed on the adsorbent's surface from a non-aqueous phase and then desorbed to the aqueous phase [12]. Besides, the solubility of petrochemicals can be increased because of some detergents and surfactants co-present in the mixture, which

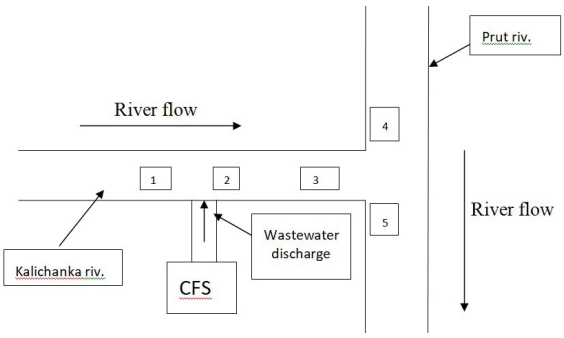


Fig. 1. Sampling area scheme: Point 1 – 50 m upriver from the car filling station (CFS) wastewater/drainage water discharge point; 2 – 20 m downriver from the discharge point; 3 – 2000 m downriver from the point of discharge; 4 – water of the river of Prut upriver from the point of confluence; 5 – 30 m downriver from the confluence

Rys. 1. Schemat obszaru pobierania próbek: Punkt 1 – 50 m w górę rzeki od punktu zrzutu ścieków/ wód drenażowych na stacji paliw; 2 – 20 m w dół rzeki od punktu zrzutu; 3 – 2000 m w dół rzeki od punktu zrzutu; 4 – wody rzeki Prut w górę rzeki od punktu zbiegu; 5 – 30 m w dół rzeki od zbiegu

cause the emulsification or solubilization of petrochemicals and result in the formation of an aqueous colloidal solution. All these reasons should be taken into consideration while selecting the most effective adsorbent, which must combine the hydrophobic and hydrophilic surface spots.

Based on the above, a 4:1 mixture of coal sludge and technical pyrocarbon was used in this work to investigate its effectiveness and the ways of its possible application to the decontamination of low-scale wastewater discharges from small car filling/washing/service facilities. The adsorption effectiveness of both individual components was also checked to compare it with the effectiveness of the 4:1 mixture.

Materials and experimental methods

The investigation was done with the surface water samples taken from a small river of Kalichanka near its confluence with a larger river of Prut and from the Prut within the city limits of Chernivtsi, Ukraine. A scheme of the sampling points is shown in Fig. 1. All samples were taken in the dry weather from the surface water in such a way as to avoid their additional pollution with the river mud and other similar materials.

The sludge with an ash content of 43.1% and a moisture content of 15.3% obtained after refining the "T" brand coal was used as a mosaic surface (hydrophilic/hydrophobic areas) component, and technical pyrocarbon with an ash content of 28% and a moisture content of 1.6% obtained after pyrolysis of mixed organic polymer waste was used as a hydrophobic component of the adsorption composition. The component's (sludge/pyrocarbon) mass content in the mixture was 4:1.

The components were ground individually or as a mixture in a ball mill with a standard set of steel grinding ball elements. Then a mixture of the particles ranging in size from 0.5 to 50 μm was sieved out and used in further experiments.

Since the petrochemical pollutants and suspended particles are expected to be the most influential water contamination agents, we measured the COD and absorbance of the samples to evaluate the effectiveness of water decontamination.

The absorbance (1) and COD (2) of the samples were measured by the following procedures.

(1) A water sample was poured into a 10 mm cuvette, and then its absorbance was measured by the KFK-3 photocolorimeter by LOMO at the wavelength 540 nm against distilled water. If some adsorbent had to be added, it was poured into the water then the mixture was kept for 30 min at periodical stirring to reach the adsorption equilibrium. Finally, the adsorbent was filtered out, and the absorbance of the filtrate was measured as described above.

(2) – expressed method. A water sample was filtered through the paper filter, and then 5 mL of the filtrate was poured into a 250 mL thermal-proof flask. Then we added 5 mL of a 0.1 N aqueous solution of potassium dichromate, stirred the mixture, and, drop by drop, added 15 mL of concentrated sulfuric acid at constant stirring. The solution was kept for 5 min with constant stirring, then cooled to 20°C. Finally, it was diluted with 50 mL of distilled water and titrated by a 0.1 N solution of Mohr's salt against the ferroin indicator. The same procedures were performed with a control sample containing distilled water instead of the filtrate.

The following formula was used to calculate COD:

$$COD = 1.2 * ((V_0 - V) * 0.1 * 8 * 1000 / a) - 18.5,$$

where V_0 and V – amounts (mL) of a Mohr's salt solution used for the titration of the samples of control and working solutions, 0.1 – normality of a Mohr's salt solution, 8 – the chemical equivalent of oxygen, α – water sample amount (mL), 1.2 and 18.5 – correcting coefficient to agree the results of this expressed and the standard arbitration experimental measurements of COD.

Table 1 represents the average COD values for all sampling points.

No significant changes in the pollution agents' concentrations were found in samples taken in dry weather during spring-autumn seasons. The COD of the samples varied within ± 15% at every particular sampling point. On the other hand, it was found that petrochemicals and suspended particles are rather persistent agents affecting the entire area of investigation. COD does not decrease much even in 2000 m downstream from the point of discharge (compare the COD of samples 2 and 3, Table 1). The influx of the Kalichanka into the Prut has a serious negative impact, causing an increase in COD from 7.2 to 12.5 mg O/L. It should be noted that the maximal permissible value of COD in an open freshwater body must be below 5 mg O/L. So, it was exceeded even upriver from the confluence, but downstream it became more than twice higher.

Tab. 1. COD of the water samples (average statistical deviation less than ± 15 %)

Tab. 1. ChZT próbek wody (średnie odchylenie statystyczne poniżej ± 15%)

COD value, mg O/L	Sampling point				
	1	2	3	4	5
	11.2	18.3	16.8	7.2	12.5

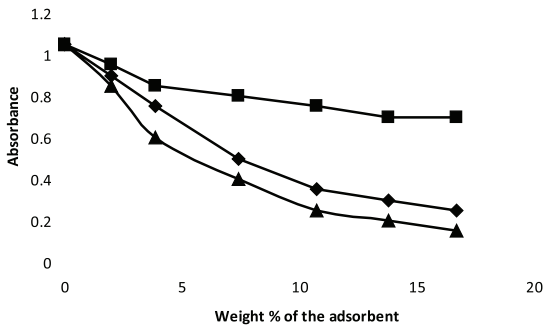


Fig. 2. The dependence of the samples' absorbance on the added amount of various adsorbents. ◆ – coal refining sludge; ■ – technical pyrocarbon; ▲ – 4:1 mixture of the sludge and pyrocarbon

Rys. 2. Zależność absorbancji próbek od dodanej ilości różnych adsorbentów. ◆ – muł z rafinacji węgla; ■ – pirocarbon techniczny; ▲ – mieszanina 4:1 mułu i pirocarbonu

The following experiment was taken to evaluate the effectiveness of water cleaning with a mixture of adsorbents. Ten liters of contaminated water were placed in a plastic canister connected to the cartridge filled with 1 kg of the mixture. Then the water was passed through the cartridge with a flow rate of 1 L/min. Control samples of the treated water were taken after the cartridge and then analyzed to determine their absorbance and COD, as described above.

Results and Discussion

As seen from the data above, the river of Kalichanka is significantly contaminated with organic pollutants providing additional anthropogenic load on the river of Prut. Waste/drainage water discharge from the local CFS negatively contributes to total river water contamination. Therefore, some approaches to wastewater decontamination should be considered.

Since the absorbance of a sample depends on the content of suspended particles, this parameter can be used to characterize the effectiveness of extraction of suspended pollutants from water. Fig. 2 represents the dependence of the samples' absorbance on the added amount of various adsorbents.

The COD of a water sample depends mainly on the content of organic (mostly petrochemicals) pollutants. The dependence of the samples' COD on the added amounts of the adsorbents is shown in Fig. 3. In this case, the performance of the adsorbents mixture is also better than that of the individual components.

As seen from Fig 2 and 3, a 4:1 composition of coal refining sludge and technical pyrocarbon is more effective than the individual components. Therefore this composition should be used in water-cleaning cartridges.

It is more convenient to realize any adsorption cleaning technology in a dynamic mode when the wastewater to be treated is collected in some kind of pond and then is discharged continuously through the water cleaning equipment than to do that in a static mode when the wastewater is poured in some technological tank, treated, and then discharged.

Results of the flow decontamination of water are shown in Table 2. They embrace only the first three liters because no changes in the water absorbance and COD were determined after passing three liters through the filtration cartridge. It can be seen that this water cleaning method is effective in the elimination of petrochemical water pollution agents. COD decreases by eight times, and absorbance drops by six times. It means that about 85% of the petrochemical pollution is extracted from treated wastewater.

The water decontamination performance of the cartridges slightly degrades as wastewater passes through – mostly in the context of COD. However, within the amount of water used in this investigation, this degradation is not crucial and does not exceed 10% of the initial water cleaning effectiveness. The suspended particle elimination ratio remains almost stable. This parameter depends mostly on the mechanical fixation of the suspended pollution inside the adsorbent layer, which has a much higher filtration capacity than its adsorption capacity, which is important for the elimination of dissolved petrochemicals.

Since the maximum adsorption capacity of petrochemicals on the mixed adsorbent reported in [6] is 0.15 kg/kg, and taking into account that an average daily drainage/wastewater discharge of such car filling/service facility is about 1000 L, it can be seen that 30000 L of the monthly-formed wastewater consisting of 0.09% of petrochemicals will bring about 27 kg of petrochemical pollution agents to be adsorbed. Taking into account its adsorption capacity (see above), it is obvious that such an amount of pollutants requires only about 4 kg of the adsorbent mixture per month. Therefore, a small pond or underground tank can be established to collect the technological wash-offs and drainage/wastewater from a typical CFS. It should be equipped with a filtration cartridge filled with 4 kg of the mixed adsorbent. Filtration of the water with a flow rate of not more than 1 L/min ensures extraction of mixed suspended particles and organic pollutants, which leads to an 85% decrease in the COD. The expected operation time before cartridge replacement is not shorter than one month.

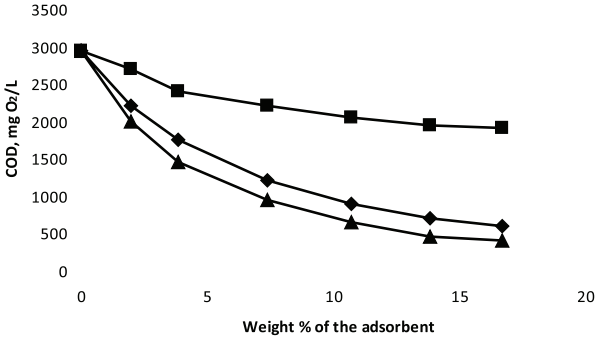


Fig. 3. The dependence of the samples' COD on the added amount of various adsorbents. ◆ – coal refining sludge; ■ – technical pyrocarbon; ▲ – 4:1 mixture of the sludge and pyrocarbon

Rys. 3. Zależność ChZT próbek od ilości dodanych różnych adsorbentów. ◆ – szlam z rafinacji węgla; ■ – pirocarbon techniczny; ▲ – mieszanina 4:1 szlamu i pirocarbonu

Tab. 2. Effectiveness of wastewater treatment by the coal sludge/pyrocarbon cartridges

Tab. 2. Skuteczność oczyszczania ścieków przez wkłady z mułu węglowego i węglowodorów ropopochodnych

Adsorbing mixture	Absorbance				COD, mg O_2/L			
	Raw water	1 L	2 L	3 L	Raw water	1 L	2 L	3 L
Coal sludge/pyrocarbon	1.2	0.2	0.21	0.21	3250	420	440	450

Conclusion

A 4:1 mixture of the "T" brand coal refining sludge and technical pyrocarbon proved its effectiveness in the decontamination of wastewater from petrochemical pollutants and mixed mechanical suspensions. Up to 85% of petrochemicals can be extracted from the aqueous phase by filtration of the regular car filling/service station's wastewater through a cartridge filled with this mixture. The water decontamination performance of a cartridge filled with 4 kg of adsorbing mixture should remain sufficient for at least one month. Then the waste adsorbent can be utilized by adding to the solid coal-based fuel mixtures for thermal power stations or other similar facilities.

This ecofriendly solution requires only solid industrial waste materials allowing an enhancement of the water quality condition in the small urban rivers often suffering from the low-tonnage and numerous uncontrolled discharges of drainage/wastewater from car filling/washing/service stations and other similar service points.

Literatura – References

1. Igor Winkler. Small urban rivers of Chernivtsi: Level of organic pollutants content, main sources and effective green solutions. In: NATO advanced workshop "Dangerous pollutants (xenobiotics) in urban water cycle". Proceedings (2-6 May 2007). Lednice, Vensen, 2007. 45-50. DOI: 10.1007/978-1-4020-6795-2
2. Feng-Jiao Peng, et al. Occurrence and ecological risk assessment of emerging organic chemicals in urban rivers: Guangzhou as a case study in China. Science of the Total Environment, 2017. 589: 46-55. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.200
3. J. Wang, X. D. Liu, J. Lu. Urban river pollution control and remediation. Procedia environmental sciences, 2012. 13: 1856-1862. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.01.179
4. M. Jamal Uddin, Yeon-Koo Jeong. Urban river pollution in Bangladesh during last 40 years: potential public health and ecological risk, present policy, and future prospects toward smart water management. Heliyon, 2021. 7: 1-23. DOI: 0.1016/j.heliyon.2021.e06107
5. Peng Zhang, et al. Chemodiversity of water-extractable organic matter in sediment columns of a polluted urban river in South China. Science of the Total Environment, 2021. 777: 146127. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146127
6. Mariya Fedoryak et al. Adsorption of the petrochemical pollutants released at the small vehicle-service facilities on the coal refinery sludge/pyrocarbon compositions. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2021. 47: 61 – 66. DOI: 10.29227/IM-2021-01-08
7. Igor Winkler, Volodymyr Diychuk. Adsorption of toluene from the mixed water–toluene system on medicinal activated carbon. Canadian Journal of Chemistry, 2014. 92: 392-396. DOI: 10.1139/cjc-2014-0030
8. Igor Winkler and Anna Saviuc. Adsorption and electroadsorption of toluene on some graphite/clay materials. Revue Roumaine de Chimie, 2016. 61: 773-778
9. Marwa Elkady, Shokry Hassan, and Hamad Hesham. New activated carbon from mine coal for adsorption of dye in simulated water or multiple heavy metals in real wastewater. Materials, 2020. 13: 2498-2503. DOI: doi.org/10.3390/ma13112498
10. Sepher Sadighi, Alivand Sheikh Masood, and Faghihi Morteza. Selection of adsorbents for different applications and processes: A Review. Petroleum & Coal, 2019. 61: 932-948
11. A. S. Makarov, et al. Utilization of industrial wastewater in production of coal-water fuel. Journal of water chemistry and technology, 2014. 36: 180–183
12. Igor Winkler and Anna Saviuc. Diffusive and kinetics control of the liquid phase adsorption of toluene of some graphite/clay compositions and pure graphite. Revue Roumaine de Chimie, 2018. 63: 1169-1174

Skuteczność niektórych kompozycji mineralnych na bazie węgla w dekontaminacji i ochronie środowiska wód małych rzek miejskich

Zbadano skuteczność szlamu z przeróbki węgla marki "T", pirocarbonu technicznego i ich mieszaniny jako adsorbentów do odkażania wody drenażowej z zanieczyszczeń organicznych. Zanieczyszczone próbki wody zostały pobrane z systemu odwadniającego zwykłej stacji obsługi samochodów, a następnie poddane działaniu adsorbentów. Absorpcja wody i chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) były kontrolowane jako parametry jakości wody i skuteczności dekontaminacji.

Jako najskuteczniejszy adsorbent dla mieszanych zanieczyszczeń petrochemicznych i mechanicznych zastosowano mieszaninę 4:1 szlamu z rafinerii węgla i pirocarbonu technicznego. Stwierdzono, że kompozycja ta skutecznie odkaża wodę z mieszanych zanieczyszczeń organicznych.

Wkłady do oczyszczania wody wypełnione tą kompozycją adsorbentów wykazały wysoką skuteczność odkażania, eliminując około 85% petrochemicznych zanieczyszczeń wody. Wydajność ta nie ulega znacznemu pogorszeniu, a 4 kg adsorbentu powinno wystarczyć do oczyszczenia ilości ścieków powstających na stacji benzynowej przez co najmniej miesiąc.

Słowa kluczowe: *małe rzeki miejskie, woda zanieczyszczona olejem, adsorpcyjne uzdatnianie wody, mieszane adsorbenty węglowe, pirocarbon*

Clean Technology for Coal Desulphuration to Reduce SO_2 Emissions from Coal Combustion in Thermal Power Plants

Camelia BĂDULESCU[1)], Diana MARCHIŞ[2)], Daniela Ionela CIOLEA[3)]

[1)] Associate Professor, Dr.,Eng.; University of Petrosani, 332006 Petroșani, Hunedoara, Romania
[2)] Lecturer, Dr.; University of Petrosani, 332006 Petroșani, Hunedoara, Romania
[3)] Assoc. Prof. Ph.D. Eng.; University of Petrosani, 332006 Petroșani, Hunedoara, Romania; email: cdipentrucdi@yahoo.com

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-56

Submission date: 12-11-2023 | Review date: 27-11-2023

Abstract

Power stations using the coal as energetically agent exhaust into the atmosphere large quantities of polluting agents having different forms. Burning of coal involves pollution of environment by means of powders exhausted from chimneys and by means of flying ash spoil dumps. Mechanical pollution is completed by chemical pollution produced as result of action of chemical substances in burned gases that can be even more dangerous than the solid ones, affecting the ecological balances of areas around the energetically complexes. In order to reduce the impact of gases onto the environment is required that in the future to be taken a range of measures aiming to monitor the noxious gases exhausted complying the national and international environment protection laws. Also, considering the toxicity of sulphurous gases over the flora and fauna, this paper analyses, based on original experiments, different methods (desulphurization by flotation, magnetic desulphurization, and bacterial desulphurization) for sulphur content reduction in coal before being used in thermal power plants.

Keywords: *coal combustion, desulphurization, SO_2 content, environmental protection, mechanical processing technologies, bacterial desulfurization of coal*

1. Introduction

One of the negative aspects of coal combustion is the generation of sulfur dioxide emissions, leading to acid rain occurrence. Therefore, given the increasing demands in environmental protection, there is needed a more advanced coal desulphurization in the pre-combustion phase.

The desulphurization of the coal used in the burning process in thermal power plants has the following advantages: eliminates investment needed to achieve gas desulphurization equipment, reduces the polluting elements of ash, slag and gas.

Desulfurization of coal can be carried out by flotation, gravitational procedures, magnetic separation or using bacteria.

The coal is a macromolecular compound with a very complex structure, the composition of which includes: C, H, O, N, S.

The element sulfur is found in coal in the following forms:

- Sulphate sulfur;
- Sulfur sulphide (pyrite and/or Marcasite);
- Organic sulfur.

Sulfur sulfate – is a minor element in the sulfur balance in coal, rarely going above 0.2%. The presence of sulphate sulfur is due to the oxidation of pyrite with the oxygen from atmosphere or water, leading to ferrous sulphate ($FeSO_4$). Sulfur sulfate is found in the form of $CaSO_4$, being brought by percolation water.

Sulphide sulfur – can be present as pyrite and marcasite. In coal, the pyritic sulfur is present in different amounts and forms, from very fine microscopic particles released into the mass of coal, up to thick granules of few millimeters.

The vast majority of pyrite in the Jiu Valley coal is finely disseminated into the coal mass, generally having sizes from 0.1 to 0.25mm.

Organic sulfur - is found in coal in three forms:

- sulfur in the form of -SH or H-S-S-H in a concentration of 2%, which by oxidation forms HSO_3;
- sulfur in the form of C = S, which after oxidation is removed in the form of SO_2;
- sulfur in an undefined form, highly resistant to chemicals reagents.

Sulfur is alongside other elements, an unwanted element in coal because by burning coal in power plants results a set of agents, one more harmful than the other, leading to a mechanical and a chemical pollution of the environment:

- mechanical pollution – represented by the particulates entrained in chimneys;
- chemical pollution – caused by the action of chemicals from the combustion of coal.

Chemicals resulting from burning coal have a complex impact on all environmental factors in their surrounding area (atmosphere, soil, water). Air pollution with SO_2 is very harmful to the human body. A concentration of 20 ppm SO_2 produces coughing and irritates the eyes, this compound also greatly affecting vegetation. On the wet leaves, sulfur dioxide dissolves forming sulfuric acid (H_2SO_3) which passes through oxidation in sulfuric acid (H_2SO_4) which is a harmful agent. This occurs especially in winter, so the conifers suffer primarily because they keep their leaves in winter.

Considering that by burning coal very harmful chemicals for flora and fauna are released, there it is required a purification of coal before burning, to reduce the sulfur content. This can be done either by traditional methods (gravitational concentration, flotation, and heavy media) or by chemical or biological methods.

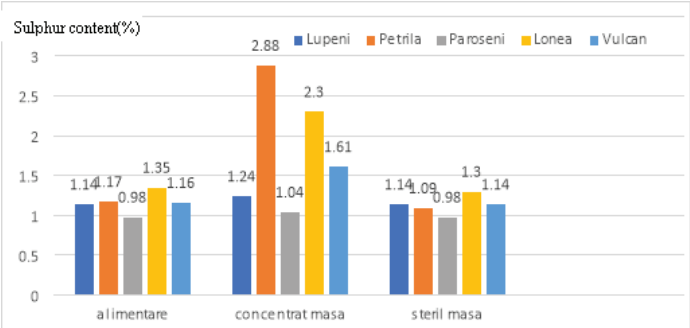


Fig. 1. Distribution of sulfur content in products and mining fields-mass concentration

Rys. 1. Rozkład zawartości siarki w produktach i polach wydobywczych – stężenie masowe

2. Experimental Part

The paper presents several methods tested in laboratory and pilot phase for reducing sulfur from coal before subjected to combustion, through various methods.

2.1. Research of desulphurization by separation processes in hydrogravitational and hydrocentrifugal fields

Hydrogravitational concentration processes are among the oldest concentration processes in both ore and coal. (Tomus N., Cismasiu M.C., Deak E.S, 2014)

Hydrogravitational separation is achieved easier when between the mineral species there is a difference of specific weight and when they fit into a close range granulometry, plus the difference in the form of granules.

Some examples of devices that use the water current concentration are: concentration tables, Reichart cones, and among the devices that are used in centrifugal field to concentrate we can mention hydrocyclonage, spirals, Knelson, Falcon or Mozley multigravitational concentrators.

The National Institute for Research and Development for Rare and Radioactive Minerals (NIRDRRM) Bucharest and the University of Petrosani performed experimental research using the Mozley concentrator and the concentration tables, on coal from different mining fields from Jiu Valley. Following the laboratory research several conclusions can be drawn:

- weight extraction of the mass concentrate varies between 1.76 and 7.14% depending on the mining field from which the coal originates;
- the content of sulfur in the mass concentrate is not much different from that in the feed, is a maximum of 2.88% for coal coming from E.M. Petrila, which means that a small amount of sulfur less concentrated in the mass concentrate; (figure 1)
- sulfur extraction in mass concentrate was calculated based on weight extraction and the ratio of sulfur in the concentrate and in the feed, obtaining a value below 10% for all the sorts of coal analyzed; (there were exceptions in Petrila and Lonea areas with the values 11,34% and 12.21%);
- as a general conclusion it can be said that coal desulfurization using Gemeni concentration table for less than 1 mm grain size coal is not justified given the very low sulfur extraction in the concentrate.

Desulfurization tests using Mozley concentrator, which is a device that combines the principle of the centrifugal field with the one of the hydrogravitational concentration led to the following conclusions:

- weight extraction of the concentrate is high enough (between 8 and 28%) for the coal coming from Jiu Valley Basin, but an inverse concentration of the sulfur is produced, this being explained by the fact that within the apparatus concentrate there were coarse size coal particles with lower sulfur content;
- based on the obtained results there can be stated that not even the Mozley concentrator gave the expected results for coal desulphurization (figure 2.)

2.2. Coal desulphurization by flotation

Flotation is a physical-chemical process which is based on the difference between superficial properties of the surface of particles of coal and sterile. This method is applied to fine grain classes, resulting in the reduction of pyritic sulfur content for class + 0,074 mm size up to 90% and class -0,074 mm size to 30%. (Krausz S., Sarbu R., Badulescu C., s.a, 2008).

The efficiency of the flotation process is influenced by the following parameters:

- the granulometry of the material, in coal the optimal class is from 1.17 to 0.30 mm;
- the degree of coal oxidation influences the surface characteristics of particles;
- the characteristics of the water (particularly pH), the optimum pH of coal is 6 -7.5;
- characteristics of reagents,
- flotation equipment used.

2.3. Magnetic desulphurization of coal

Magnetic separation was used to purify the small size coal particles. This process is based on the difference between the magnetic properties of coals and the associated minerals. Tests on magnetic concentration were carried out at different intensities of magnetic field. (Murray H.,1997)

After applying desulfurization by means of magnetic separation, the following conclusions can be drawn:

- for the process of magnetic separation to be applied, the tested material is necessary to be grinded down to 1 mm and an average size of 0.3 mm
- the weight extraction of magnetic product is between 6 and 26% (the mining areas with high weight extraction are Lonea and Petrila);
- the sulfur content in the magnetic product is as follows: 11.48% at Lupeni; 8.34% at Paroşeni, 6.4% at

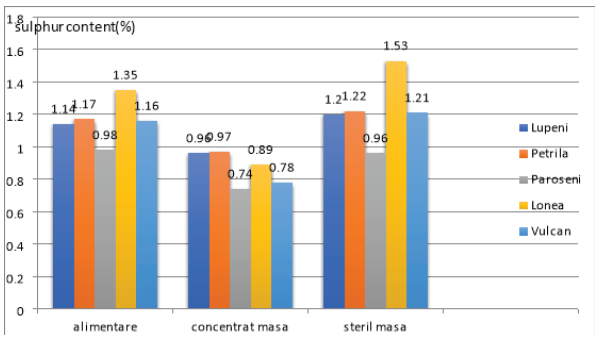


Fig. 2. Distribution of sulfur content in products and mining fields-Mozley concentrator

Rys. 2. Rozkład zawartości siarki w produktach i polach wydobywczych – koncentrator Mozley

Vulcan; 3.09% at Petrila; 5.85% at Lonea;

- the weight extraction of the non-magnetic product is between 76 and 94% (higher in the western part of the Jiu Valley and lower in the eastern part);
- the sulfur content in the non-magnetic product is as follows: Lupeni-0,48%S; Paroşeni-0,51 %S;Vulcan-0,57% S; Petrila-1,14%S; Lonea-1,12%S;
- in the non-magnetic product there remained between 40 and 54% of the sulfur existing in the original coal, which means that sulfur is not bound only to pyrite, but also to non- magnetic sulfates;
- the organic sulfur which is chemically bound to the carbon in the coal can be extracted only by chemical or biochemical processes, after the breaking of chemical bonds;
- between the iron and sulfur content of the magnetic products there is not necessarily a dependence because iron may be present in coal also in the form of oxides or silicates not only in the form of pyrite and marcasite.

It appears that much of the mineral impurities contained in coal are paramagnetic and may be removed by magnetic separation after advanced grinding to achieve the release of the mineral constituent species.

For a more efficient desulfurization, an increase in the magnetic properties of pyrite from coal is required using various methods. One such method is the selective wetting of the constituents with a water-based ferrofluid. The component wetted by ferrofluid and thus reported as magnetic product is, in this case, the mineral (pyrite, clay, silica). Magnetic susceptibility of coal will not be affected and they will form the non-magnetic fraction. To separate the "magnetized" component a high gradient magnetic separator (HGMS) was used, obtaining the following:

- the content of inorganic constituents was reduced from 17% to 5%;
- the sulfur content of a raw coal was reduced from 1.9% to 0.7%;
- the amount of SO_2 emitted into the atmosphere by the desulphurised coal combustion was three times lower than that of raw coal combustion.

2.4. Electrical desulphurization of coal

Electrical separation tests led to the following conclusions:

- separation is not achieved on conductive or non-conductive products with a significant sulfur content compared with the feed;
- during the electric field separation a division of the feed material in two fractions is obtained; the coarse fraction reaching in the conductive product due to centrifugal force that prevail in comparison with the and the fine fraction reaching in the non-conductive product because of electrical force;
- in the non-conductive product which has a relatively low weight extraction 8–15% and 10–17% sulfur extraction, there are distributed especially fine minerals from the grinding of sterile rocks in coal
- in addition to poor results in terms of reducing the sulfur content, if one takes into account that the separation in electric field requires the heating of the material to a temperature of at least 850C the application of this process is not justified.

2.5. Bacterial desulfurization of coal

The Jiu Valley coal is characterized by a great diversity of total sulfur, the mineral and organic sulfur ratio being 1:1. The sulfur content of coal is characterized by values ranging between 1.3–2.6% for the eastern part of the coal basin and from 2.4 to 3.3% for the western part.

The used mechanical processing methods have not given favorable results in reducing sulfur content due to very fine disseminated pyrite in the coal organic mass

In the first part of the research, microbiological and chemical analyzes of water samples collected from Lupeni mine were performed. During these analyses a wide range of culture media were used for the following:

- to highlight the chemoautotrophic mesophilic sulfur and iron oxidizing bacteria (genus Thiobacillus), the sulfate-reducing bacteria, the ferobacteria and heterotrophic aerobic bacteria
- to know the microflora of mine water
- to isolate chemoautotrophic sulfur and iron oxidizing bacteria.

The following chemoautotrophic sulfur and iron oxidizing bacteria species were found after the determination: T.thiooxidans, T.thioparus, T.neapolitanus, T.ferrooxidans, T.denitrificans, T.novellus.

The coal used for the next step of the research came from Lupeni mine, having a 2.81% total sulphur content. After the research the following can be concluded:

- Lupeni coal, due to its high content of carbonates do not provide the optimum conditions (pH of the cul-

Tab. 1. Reducing the sulfur content of coal from the Lupeni mine, Romania, after bacterial leaching

Tab. 1. Obniżenie zawartości siarki w węglu z kopalni Lupeni w Rumunii po ługowaniu bakteryjnym

Sulphur content	Before leaching (%)	After leaching (%)	Desulphurization degree (%)
Total sulphur	2.81	1.79	36.3
Pyritic sulphur	0.71	0.05	92.96
Organic sulphur	4.03	1.59	60.55
Sulphur sulphate	0,15	0,07	53,33

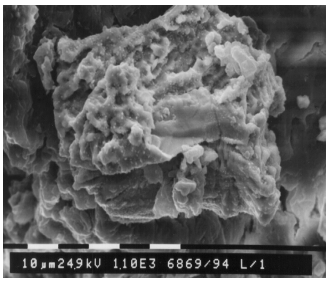


Fig. 3. Pyrite after a week of bacterial leaching

Rys. 3. Piryt po tygodniu wymywania bakteryjnego

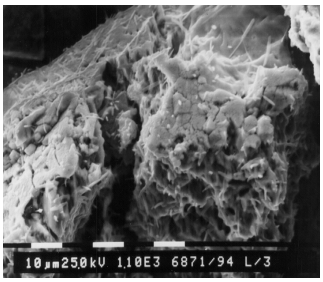


Fig. 4. Pyrite after bacterial leaching

Rys. 4. Piryt po wymywaniu bakteryjnym

ture medium tends to become neutral) for the development of bacteria belonging to the genus Thiobacillus, the sulfur was removed from the charcoal only in a proportion of 5–25 %;

- the success of bacterial desulfurization of coal depends on the composition, structure and dispersion of the sterile in coal, especially of the alkaline one. The reaction of coal sterile (which has the ability to fix the sulfuric acid) and sulfuric acid resulting from the action of bacteria, leads to the formation of alkaline sulfates, that are not consumed by bacteria;
- to perform desulphurization is necessary to create a culture medium for bacteria with a 2.5 pH by addition of hydrochloric acid;
- the duration of the desulphurization process is at least six days;
- by biological desulphurisation there can be removed approx. 20% of total sulfur, and can be locked in the form of a sulfate a percentage of 60% of the sulphide content;
- bacterial desulfurization capacity gradually decreases with increasing the size of coal particles;
- desorption of desulphurisation products is made through washing with warm water.

For the desulfurization of the hard coal from Lupeni mine by bacterial leaching means, the following were used:

- a 5 liter air-lift bioreactor of the Deutsche Montan Technology Research Institute in Essen
- 9K culture medium without $FeSO_4$
- Thiobacillus ferooxidans from the Czechoslovak Collection of Microorganisms in Brno
- the concentration of bacteria introduced into the process was of 109/1 ml.
- the pH of the solution was maintained between 1.8–2.0
- the duration of bacterial leaching was 28 days
- the temperature was 28–30°C.

Petrographic analysis carried out at the Institute of Geotechnics CAV in Prague revealed that coal from the Lupeni mine contains 84.4% vitrinite, 13.8% liptinite and 1.4% inertinite. The mineralogical composition consists of pyrite, clay minerals, particularly carbargilite. Pyrite is present in spheroidal form, the granules located in the mass of mineral coal. (P. Fecko, 2007).

After the bacterial leaching using Thiobacillus ferooxidans for one month, the total sulfur content was reduced from 2.81% to 1.79%, showing a degree of desulphurisation of 36.30%, pyritic sulfur being mainly reduced (92.96%) (Table 1).

Figures 3 and 4 present the image of the pyrite particle after a week and three weeks of leaching.

Conclusions

It can be said that coal desulfurization using Gemeni concentration table for less than 1 mm grain size coal is not justified given the very low sulfur extraction in the concentrate;

Researches using Mozley concentrator that combines field hydrocentrifugal at hydrogravitational revealed that even with this type of device cannot achieve a significant reduction of sulfur content in the desulphurized coal.

During the electric field separation a division of the feed material in two fractions is obtained; the coarse fraction reaching in the conductive product due to centrifugal force and the fine fraction reaching in the non-conductive product because of electrical force.

Desulfurization by flotation can be applied to fine grain classes, resulting in the +0,074mm class size a pyritic sulfur content of 90%.

Worth considering the results of the processes for desulfurization of coal in the magnetic field performed when a reduction of the sulfur content in coal to 50% is obtained.

The magnetic coal desulphurization applies to small size particles, with a reduction in the concentration of mineral components from 17% to 5% and the sulfur content from 1.9% to 0.7%.

By biological desulphurization approximately 20% of total sulfur can be removed.

After the bacterial leaching using Thiobacillus ferooxidans for one month, the total sulfur content was reduced from 2.81% to 1.79%, showing a degree of desulphurisation of 36.30%, pyritic sulfur being mainly reduced (92.96%).

Literatura – References

1. Abel, W.T. – Removing Pyrite from Coal dry-Separation Methods, Bureau of Mines, USA, 1973;
2. Badulescu C., Ionescu C., Moldovan C. - Desulfurarea magnetică si bacteriană a cărbunilor, Revista Minelor, Nr.2/2009, pag.9, 2009;
3. Badulescu C.- Biotehnologii in protectia mediului, Ed Universitas, Petrosani, 2010
4. Belly R.T., T.D.Brock – Ecology of iron-oxidizing bacteria in pyritic materials associated with coal. Journal of Bacteriology, 117 (2), p.726-732,1974;
5. Deurbrouck,A.W, Jacobson, P.S. – Coal Cleaning , State of the Art; Coal Utilization Symposium- SO2 Emission Control, National Coal Conference, Louisville, 1994;
6. Fečko P.– BIOTECHNOLOGY - technologies of 21 century. Institute of Environmental Engineering Mining University of Ostrava, Czech Republic, 2007;
7. Fecko P.– Bacterial Desulphurization of Coal from Lupeni in Romania, Proceedings of the 7-th International Mineral Processing Symposium, Istambul, pg.361-366, 1998;
8. Kecko P- Biotechnology –technologies of 21 century, Institute of Enviromânmental Engineering Mining University of Ostrava, Czech Republic, , 2007
9. Krausz S., Sarbu R., Badulescu C., s.a. - Tehnologie curată pentru desulfurarea cărbunilor în scopul reducerii emisiilor de SO2 la arderea lor în termocentrale, Contract de cercetare, 2005-2008;
10. Murray H.H – High Intensity Magnetic Cleaning of Bituminous Coal, Second Symposium on Coal Preparation, Loisville, Kentucky, 1976;
11. Malik, A., Dastidar, M.G., Roychoudhury, P.K. – Factors limiting bacterial iron oxidation in biodesulphurization system, International Journal of Mineral Processing, vol.73, No.1, 2004.
12. Tomus N., Cismasiu M.C., Deak E.S -Tehnologie curata pentru desulfurarea carbunilor în scopul reducerii bioxidului de sulf la arderea în termocentrale, Buletin CENTIREM, nr.8/2014, pag.60, 2014;
13. Zarnea G – Tratat de Microbiologie Generală, ED.Academiei, vol. II, p.289-301,1984;
14. Wierzchovski K. Sablik .J., Extragerea piritei din concentratele de flotație a cărbunelui, funcție de dimensiunea particulelor de pirită. Coal international.Mineralurgy, nr.35, 1998 p.175, 2000.

Czysta technologia odsiarczania węgla redukująca emisję SO_2 ze spalania węgla w elektrociepłowniach

Elektrownie wykorzystujące węgiel jako środek energetyczny emitują do atmosfery duże ilości zanieczyszczeń o różnej postaci. Spalanie węgla wiąże się z zanieczyszczeniem środowiska za pomocą pyłów wydobywających się z kominów oraz za pomocą lotnych hałd popiołów.Uzupełnieniem zanieczyszczeń mechanicznych są zanieczyszczenia chemiczne powstające w wyniku działania substancji chemicznych zawartych w spalinach, które mogą być jeszcze bardziej niebezpieczne niż stałe, naruszając równowagę ekologiczną terenów wokół kompleksów energetycznych. W celu ograniczenia oddziaływania gazów na środowisko wymagane jest podjęcie w przyszłości szeregu działań mających na celu monitorowanie emisji szkodliwych gazów zgodnie z krajowymi i międzynarodowymi przepisami ochrony środowiska.

Ponadto, biorąc pod uwagę toksyczność gazów siarkowych dla flory i fauny, w pracy przeanalizowano, na podstawie oryginalnych doświadczeń, różne metody (odsiarczanie flotacyjne, odsiarczanie magnetyczne, odsiarczanie bakteryjne) redukcji zawartości siarki w węglu przed zastosowaniem w elektrociepłowniach.

Słowa kluczowe: *spalanie węgla, odsiarczanie, zawartość SO_2, ochrona środowiska, technologie obróbki mechanicznej, Bakteryjne odsiarczanie węgla*

Environment and its Influence on Aquatic Ecosystems Industrial Landscape

Šárka KROČOVÁ[1], Vladimír ČABLÍK[2], Darja KUBEČKOVÁ[3], Małgorzata KRYLOW[4], Kamila ROUCHALOVÁ[5]

[1] VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, Lumirova 13, 1875, 703 00 Ostrava-Vyskovice, Czech Republic
[2] VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic
[3] VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, L. Podeste, 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic
[4] Cracow University of Technology, Faculty of Environmental Engineering and Energy, Warszawska 24, 31-155 Cracow, Poland
[5] Ing.; VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Environmental Engineering; ORCID 0000-0001-6965-2662

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-57

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

The environment is changing considerably with the increase of the human population. In many cases, especially in urban and industrial agglomerations, the limit values for long-term positive sustainability are already achieved. Air and aquatic ecosystems are the most endangered areas of the environment. Given that water is a life and its contamination endangers the health and lives of humans, fauna and flora, the following article focuses on how to identify security risks and then eliminate them to an acceptable level using scientific methods and technical options.

Keywords: *industrial agglomerations, environment, landscape management, risk elimination*

1. Introduction

Gradually, but at an unstoppable pace, the human population is concentrated in various magapoles and industrial landscapes. Countryside is gradually depopulated and very often becomes only a recreational area and a place of farming.

In agriculture, there have been major changes in the last decades of the last and this century. Agricultural activity now requires only a fraction of people compared to the first half of the 20th century due to the use of modern technology and working methods. However, this change does not only bring benefits, but concentrating a large number of people on a relatively small area overloads the environment (UNFPA, 2011; Malikova et al., 2021). The most serious of the whole range of environments of different types of regions are the aquatic ecosystems.

2. Aquatic ecosystems and industrial landscapes

Aquatic ecosystems are very fragile and vulnerable areas of the natural environment. They tend to be highly vulnerable due to natural phenomena or anthropogenic events (Kročová, 2017). In terms of the natural occurrence and vulnerability of aquatic ecosystems in industrial landscapes, these systems can be divided into the following areas:

- Surface water,
- Groundwater.

Surface waters

Surface running or accumulated water is the primary prerequisite of the technical-operational function of each industrial landscape. From these waters, see Figure 1., water is taken for industrial use or the fire protection of the premises, and at the same time the cleaned industrial wastewater is discharged.

From an environmental point of view, surface waters are the most vulnerable natural element in an industrial landscape. Most natural effects or anthropogenic events can cause their vulnerability, see the text in Chapter 3.

Groundwater

Depending on the geological subsoil, groundwater is also endangered by the industrial landscape. In particular, there are shallow aquifers of the soil environment or water leading to more distant groundwater sources for water supply systems at various degrees of threat, see Figure 2.

Inadequate management of hazardous substances in the industrial landscape almost always causes contamination of groundwater with harmful substances and consequently their use for treatment to drinking water or for direct use for drinking purposes from individual wells of natural persons is endangered.

3. Environmental threats in industrial agglomerations

In addition to the factors mentioned in the previous chapter, there are other natural and anthropogenic hazards in the industrial landscape that combine with each other (Kubečková and Kročová, 2017).

In simple terms, the following scenarios can be considered as the main security threats in the industrial landscape.

Natural influences

- floods,
- hydrological drought,
- in sloping land, landslides.

The three basic natural phenomena will tend to intensify in the coming climate change and be the cause of a number of emergencies. At the same time, they tend to trigger the following anthropogenic emergencies (Kročová and Václavík, 2017).

Anthropogenic events

- leakage of chemicals from operating systems,
- accidents of equipment leaking out of dedicated equipment and safety corridors,

Fig. 1. Local water flow in industrial landscape (photo Krocova S.)
Rys. 1. Lokalny przepływ wody w krajobrazie przemysłowym (fot. Krocova S.)

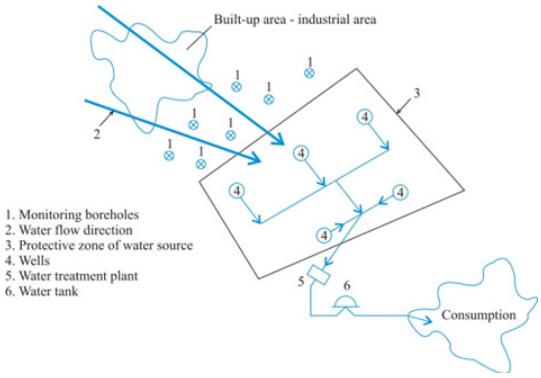


Fig. 2. Diagram of the spring and monitoring wells
Rys. 2. Schemat źródła i studni monitorujących

- Gradual penetration of harmful or hazardous substances into aquatic ecosystems.

The elimination of the consequences in question is one of the most serious and extraordinary events to be addressed by the public administration and its specialized bodies (Kročová and Kavan, 2019). Without a timely and particularly comprehensive solution to the issue, the original natural environment, landscape and agricultural economy will be seriously threatened in the coming years.

At present, there are many ecological crises in the world that need to be given increased attention.

By selecting suitable indicators (indicators) we can identify and identify the state of the environment according to its individual components (air, water, soil, rocks, biota) and on the basis of observed development trends we can even assess in advance the perspectives of further development of the environment (Kováčová and Vacková, 2014). In order to be fast and efficient, solutions must be based on option is to use the FMEA method and the security risk checklist method. sufficient risk knowledge and appropriate methods, including the use of an appropriate method. One of the possibilities of solution also lie in international cooperation and can have a multifunctional character, focusing not only on standard protection of waters of natural origin, but also in the field of water supply. The development of the current type of water supply in border areas can also stimulate the development of local infrastructure and consequently more economical use of local territories of neighboring states. Cooperation may also be wider than a cross-border nature (Malerova et al., 2017; Dvofacek et al., 2022).

4. Elimination of natural and anthropogenic risks

Optimal for these systems is the use of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method and the checklist methods, which, in conjunction with other activities and tools, create sufficient scope for analysing the risks of almost any infrastructure System or the natural environment.

In order to achieve maximum relationships between inputs and outputs of the task being solved, it is necessary to work with parameters that can influence the added value and key inputs that must be controlled in the management process. Process control is usually carried out through a process detailed map and is divided into individual steps, see Figure 3.

The process map, see Figure 4. must, however, be elaborated into all the circuits addressed by the natural environment of the industrial landscape. With its help, the solver can, through the use of the mind map, extensively document the security risks of the whole system and then find ways to eliminate them.

A variant of Environmental FMEA is used to price environmental impacts, it consists of environmental risk assessment defined, as a process of qualitative and quantitative analysis of the linear potentials and coefficients of potential risks in a project, as well as the sensitivity or vulnerability of the surrounding environment. EFMEA was developed in response to the need to find a simpler and faster method of assessing environmental impact than Life Cycle Assessment. (Wiśniewska, 2022). According to the idea of sustainability, it is necessary to combine these two factors, i.e.: product quality and environmental impact, one traditional FMEA method is not suitable for this, so a Fuzzy QE-FMEA method based on fuzzy logic is proposed. This method is more flexible in assessing the criticality of failures, as well as more consistent and logical and the results obtained are more accurate. This method enables failure risk assessment, ranking

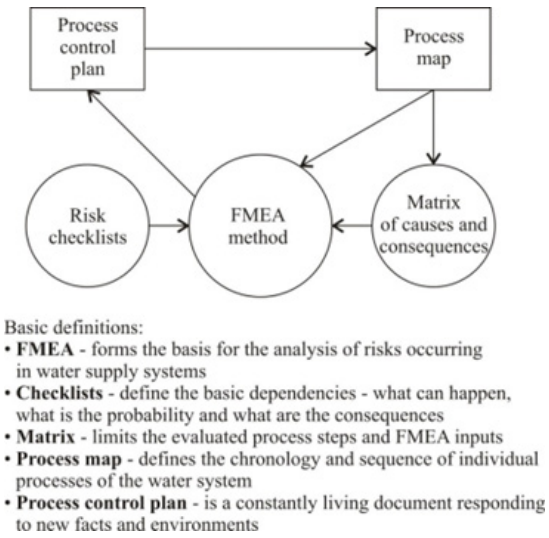


Fig. 3. Cross-links of processes for threat analysis by aquatic ecosystems

Rys. 3. Wzajemne powiązania procesów analizy zagrożeń w ekosystemach wodnych

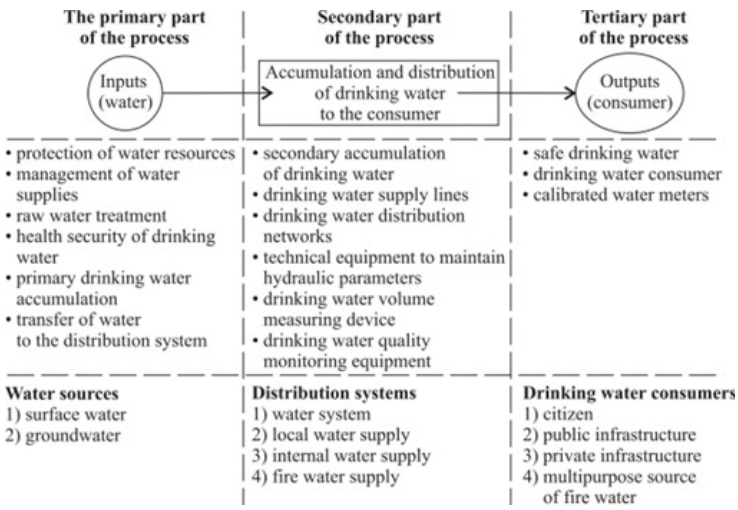


Fig. 4. Schema of an alternative detailed process map to solve a task

Rys. 4. Schemat alternatywnej szczegółowej mapy procesu do rozwiązania zadania

and prioritisation based on expert opinion, expertise and experience, analysis. (Rimantho and Hatta, 2018; Pacan and Siwiec 2023).

Risk analysis in the process of designating and establishing protection zones for water intakes in Poland.

The European Commission, in Directive No. 2020/2184, abbreviated as DWD - Drinking Water Directive), has included provisions for risk assessment and risk management, which consists of (Directive No. 2020/2184):

- risk assessment and risk management of the catchment areas for abstraction points of water intended for human consumption.
- risk assessment and risk management of the supply system
- risk assessment of the domestic distribution systems.

It is evident from the provisions of the Directive that when carrying out an assessment, it is necessary not only to consider the current status, but also to identify trends and predict what may happen in the future (contribute to the degradation of natural water resources). The assessment should take into account the possibility of future problems arising as a result of a new o hazard (e.g. resulting from a steady upward trend in the concentration of some substance (Directive 2020/2184).

It follows from the Directive's provisions that, when carrying out an assessment, it is necessary not only to consider the current status, but also to identify trends and predict what may happen in the future (contributing to the degradation of natural water resources). The assessment should take into account the possibility of future problems arising as a result of a new o hazard (e.g. resulting from a steady upward trend in the concentration of some substance).

Based on the provisions of the 2020 DWD, the following sequence of procedures should be adopted in the risk assessment process:

- identification of natural and anthropogenic (point and area) sources of pollution and hazardous situations and events;
- determination of the hazards (factors or water status) and the vulnerability of the waters to their occurrence (including their transport in time and space);

- the estimation of the probability of each hazardous event and the severity of the consequences resulting from the hazards, and evaluation, with the aim of assigning a value to each identified risk to enable it to be categorised, with appropriate prioritisation (Mulik and Zimoch, 2022)

In Poland, the Water Law Act (Prawo wodne, 2017) introduced regulations for the establishment of protection zones for water intakes and imposed, inter alia, the obligation to perform a risk analysis for underground and surface water intakes and to submit it to the relevant provincial governor. Risk assessments must be carried out by water supply and sewerage companies, but also by owners of water intakes carrying out collective water supply tasks, as well as by individual owners if they supply water for human consumption as part of commercial, service or industrial activities or to public buildings. (Prawo wodne 2017, Woźnicka and Lidzbarski, 2022) This law recommends (although it is not mandatory) that the method used in the risk analyses and health risk assessments carried out as part of the preparation of Water Safety Plans described in the Regulation of the Minister of Health of 7 December 2017 on the quality of water intended for consumption should be used to carry out a risk analysis for a water intake (Rozporządzenie Ministra Zdrowia, 2017). According to the provisions of this ordinance, water and sewerage companies and other entities supplying or using water from an individual intake should perform a risk assessment based on the PN-EN 15975-2 standard. According to this standard, a risk management system, is a process that includes the identification of hazards and possible hazardous events and the assessment and control of risks that may occur throughout the drinking water supply chain from intake to consumer. Risk assessment involves the process of analysing and evaluating risks by estimating the likelihood of hazardous events and the severity of the consequences if they occur (Mulik and Zimoch, 2022).

The advantage of drawing up a risk analysis for an intake is that it has to be updated periodically (, which allows necessary action to be taken if new risks emerge. The effect of updated assessments is to introduce protection zones for the intake, which are a safety measure. The prohibitions and prohibitions applicable to these areas should depend on the risk analysis carried out, which must first take into account health and environmental aspects, as highlighted by the World Health Organisation guidelines (WHO, 2014), followed by: economic aspects, economic sustainability (Mulik and Zimoch, 2022).

Conclusion

The environment is the most valuable thing one can sustain or damage. The highest risk of damage arises especially in industrial landscapes and urban agglomerations. In the upcoming climate change, aquatic ecosystems are the weakest link in the general environment. As water is life, aquatic ecosystems must be protected to minimize the risk of almost irreversible damage. This article responds to the threats and at the same time outlines the ways and alternative processes to minimize the threats.

Literatura – References

1. DVOFACEK, J., MALIKOVA, P., SOUSEDIKOVA, R., HEVIANKOVA, S., RYS, P., OSICKOVA, I. Water production as an option for utilizing closed underground mines. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Volume 122, Issue 10. Page571-577. DOI:10.17159/2411-9717/1439/2022.
2. Directive (Eu) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj> (dostęp 23.03.2023).
3. KOVÁČOVÁ, L., VACKOVÁ M. Achieving of environmental safety through education of modern oriented society. In: 14th SGEM GeoConference on Ecology, Economics, Education And Legislation. SGEM2014 Conference Proceedings. Vol. 2, 3-8 pp. (2014), ISBN 978-619-7105-18-6 / ISSN 1314-2704, doi:10.5593/SGEM2014/B52/S20.001.
4. KROČOVÁ, Š. Industrial Landscape in the Period of Hydrological Drought. Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 2017, roč. 18, č. 1, s. 29-32. ISSN 1640-4920.
5. KROČOVÁ, Š., KAVAN, Š. Cooperation in the Czech Republic border area on water management sustainability. Elsevier. Volume 86, July 2019, Pages 351-356.
6. KROČOVÁ, Š., VÁCLAVÍK, V. Water-use in the context of the approaching climate change. In IOP conference series: Earth and environmental science. Volume 92. Bristol : IOP Publishing, 2017, s. 0125032. ISBN 0-000-00000-0.
7. KUBEČKOVÁ, D., KROČOVÁ, Š.Long-term sustainability of the landscape in new climatic conditions. In IOP conference series: Earth and environmental science. Volume 92. Bristol : IOP Publishing, 2017, s. nestrankovano. ISBN 0-000-00000-0.
8. MALIKOVA, P., CALABKOVA, K., HEVIANKOVA, S., HALFAR, J., KOTALOVA, I., VALOVA, B. Simultaneous Recovery of Struvite and Irrigation Water for Agricultural Purposes Obtained from Dewatering Liquor through Electrodialysis. WATER. Volume 13, Issue 22. Article Number3280. DOI:10.3390/w13223280.
9. MALEROVA, L., POKORNY, J., KRISTLOVA, E., WOJNAROVA, J. Using of mobile flood protection on the territory of the Moldova as possible protection of the community. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, roč. 92, s. 12039. doi: 10.1088/1755-1315/92/1/012039. ISSN 1755-1307, 1755-1315.
10. MULIK B., ZIMOCH I. (2022) Ocena i zarządzanie ryzykiem w przepisach UE dotyczących zaopatrzenia w wodę, Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie. Część 1 Analiza ryzyka dla ustanowienia stref ochronnych ujęć wód podziemnych. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa ISBN 978-83-67567-31-2.
11. PACANA, A.; SIWIEC, D. (2023) Method of Fuzzy Analysis of Qualitative-Environmental threat in improving products and processes (Fuzzy QE-FMEA). Materials, 16, 1651. <https://doi.org/10.3390/ma16041651>.
12. PN-EN 15975-2:2013-12 – Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Cz. 2: Zarządzanie ryzykiem.
13. RIMANTHO D. and HATTA M. (2018). Risk analysis of drinking water process in drinking water treatment using Fuzzy FMEA approach. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, volL. 13, No. 8, 2947-2956.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294).
15. UNFPA. INFORMATION AND EXTERNAL RELATIONS DIVISION OF UNFPA AND UNITED NATIONS POPULATION FUND (2011). State of World Population 2011: People and possibilities in a World of 7 billion. New York: United Nations Publication Fund. ISBN 978-08-9714-990-7.
16. Ustawa z dnia 11 września 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo Wodne oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2019 poz. 2170).
17. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (t.j. Dz.U. 2018 poz. 2268 z późn. zm.).
18. WIŚNIEWSKA M.Z. (2022) Environmental Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and its applications. A comprehensive literature review Environmental Engineering and Management Journal 21, 3, 365-379.
19. WOŹNICKA M., LIDZBARSKI M. (2022) Informacje wstępne, cel pracy., Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie. Część 1 Analiza ryzyka dla ustanowienia stref ochronnych ujęć wód podziemnych. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa ISBN 978-83-67567-31-2.

Środowisko i jego wpływ na ekosystemy wodne krajobrazów przemysłowych

Środowisko zmienia się znacząco wraz ze wzrostem populacji ludzkiej. W wielu przypadkach, zwłaszcza w aglomeracjach miejskich i przemysłowych, wartości graniczne dla długoterminowego pozytywnego zrównoważonego rozwoju zostały już osiągnięte. Powietrze i ekosystemy wodne są najbardziej zagrożonymi obszarami środowiska. Biorąc pod uwagę, że woda jest życiem, a jej zanieczyszczenie zagraża zdrowiu i życiu ludzi, fauny i flory, poniższy artykuł koncentruje się na tym, jak zidentyfikować zagrożenia dla bezpieczeństwa, a następnie wyeliminować je do akceptowalnego poziomu przy użyciu metod naukowych i opcji technicznych.

Słowa kluczowe: *aglomeracje przemysłowe, środowisko, zarządzanie krajobrazem, eliminacja ryzyka*

Otrzymywanie koncentratów tytanu z popiołów lotnych

Henryk ŚWINDER[1)]

[1)] Główny Instytut Górnictwa, Katowice

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-58

Submission date: 01-11-2023 | Review date: 23-11-2023

Abstrakt

Celem pracy było zwrócenie uwagi na możliwość wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego jako źródła koncentratów tytanu. Zrealizowane prace badawcze miały na celu określenie warunków obróbki wstępnej popiołów lotnych w procesie alkalicznej aktywacji termicznej za pomocą węglanu sodu i ich wpływu na wydzielania związków tytanu w procesach hydrometalurgicznej obróbki. Proces przeprowadzono dla mieszanek popiołu i węglanu sodu w stosunku wagowym 1 do 1,1. Otrzymane mieszaniny ogrzewano przez 1 godzinę w temperaturze 973K, 1023K i 1083K. Po ostudzeniu i rozdrobnieniu ługowano otrzymaną pozostałość poreakcyjną za pomocą kwasu chlorowodorowego i azotowego (V). Wyniki analizy chemicznej i skaningowej analizy mikroskopowej wraz z analizą EDS i analizą rentgenowską wykorzystano do określenia właściwości chemicznych i fizycznych badanych substratów i produktów obróbki popiołu lotnego. Przeprowadzono analizę możliwości wydzielania koncentratów tytanu z popiołów lotnych powstających w procesie spalania w kotłach pyłowych z wybranych krajowych elektrowni. Stwierdzono zależność stężenia tytanu w otrzymanym koncentracie od temperatury prowadzenia procesu aktywacji oraz od rodzaju kwasu w procesie obróbki hydrometalurgicznej. Zawartość tytanu w otrzymanych koncentratach wynosiła od 39,3% do 60,8%, co odpowiada zawartości tego pierwiastka w eksploatowanych obecnie rudach tytanu.

Słowa kluczowe: *popioły lotne, tytan, hydrometalurgia*

Wprowadzenie

Gospodarka krajów unijnych odnotowuje coraz większy deficyt surowców mineralnych. Wymusza to podjęcie niezbędnych rozwiązań w zakresie zapewnienia ciągłości dostaw tych surowców, a tym samym poszukiwania nowych ich złóż lub technologii odzysku surowców z odpadów. W 2020 roku tytan został zaliczony do grupy krytycznych surowców (Communication from the Commission to the European Parliament 2020). Kryteriami zaliczenia do tej grupy jest znaczenie gospodarcze i ryzyko związane z dostawami. Wykaz UE z 2020 r. zawiera 30 surowców w porównaniu z 27 w 2017 r. Boksyt, lit, tytan i stront dodano do wykazu po raz pierwszy.

Tytan i stopy tytanu są wykorzystywane w rożnych gałęziach przemysłu , np. przemyśle lotniczym (silniki odrzutowe), wojskowym, procesach metalurgicznych itp. Cechą wyróżniającą go od innych metali jest jego odporność na korozję oraz najwyższy stosunek wytrzymałości mechanicznej do masy [Encyclopedia Britannica Concise: Titanium. 2007].

Tytan zawsze występuje w rudach innych pierwiastków. Jest dziewiąty pod względem występowania na Ziemi (0,63%), siódmy spośród metali [Barksdale, Jelks: The Encyclopedia of the Chemical Elements. Skokie, Illinois: Reinhold Book Corporation, 1968, s. 732–738]

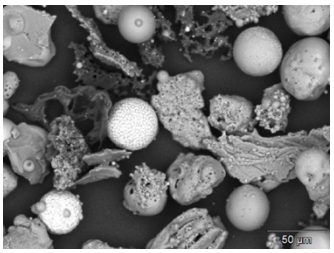
Tytan otrzymywany jest minerałów zawierających ten pierwiastek, głównie ilmenitu (FeTiO3) i rutylu (TiO2). Metaliczny tytan otrzymywany jest przez przerób rud w procesie Krolla [Handbook of Extractive Metallurgy, Fathi Habashi (red.), Weinham: Wiley-VCH, 1997,]. W ostatnich latach gwałtownie wzrosło zapotrzebowanie na związki chemiczne i czysty tytan. Głównymi producentami tytanu są: Australia, RPA i Kanada. Całkowite zasoby tytanu na Ziemi szacuje się na ponad 600 milionów ton [John Emsley: Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. Oxford: Oxford University Press, 2001, s. 451–455]. Ze względu na ograniczoną bazę złóż naturalnych podejmowane są działania zmierzające do pozyskania alternatywnych źródeł tego surowca [Charewicz, 1990]. Mogą nimi być np. popioły lotne ze spalania węgla kamiennego, zawierające szereg cennych metali, w tym również tytan.

Wykorzystanie popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego może być alternatywnym sposobem na ograniczenie wykorzystania zasobów naturalnych oraz ochrony środowiska, wynikającego ze zmniejszenia negatywnych skutków unieszkodliwiania popiołów poprzez ich składowanie. Elektrownie oparte na węglu są jednym z największych źródeł energii elektrycznej, dostarczając około 39% całkowitej energii elektrycznej wytwarzanej na świecie [US EIA 2014]. Według danych GUS [Rocznik Statystyczny, 2019], energetyka polska wytworzyła prawie 24 mln ton odpadów, z czego 19,5% stanowiły popioły lotne. Zarówno skład mineralny jak i chemiczny odpadów energetycznych zależy od wielu czynników, jak charakter spalania, rodzaj kotła i temperatura procesu spalania. Wpływają one zarówno na zawartość poszczególnych pierwiastków w popiołach, jak i na ich zawartość w poszczególnych fazach mineralnych (krystalicznych lub amorficznych) popiołów. Głównymi składnikami popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego są: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 i TiO_2, z mniejszymi ilościami pierwiastków śladowych [Blissett i in. 2014; Seredin i in. 2013; Mayfield i in. 2013). Skład mineralno-chemiczny ma decydujący wpływ na wybór metody obróbki popiołu, celem odzysku zawartych w nim związków tytanu. W trakcie alkalicznej obróbki popiołu lotnego trudno rozpuszczalny ditlenek tytanu przechodzi w rozpuszczalny tytanian sodu (MI_2TiO_3 (M = Na, K, itd.], który jest dobrze rozpuszczalny w kwasie chlorowodorowym i azotowym(V) [Żelazny S., Świnder i in.

Tab. 1. Skład chemiczny badanego popiołu lotnego, % mas

Tab. 1. Chemical composition of fly ash tested, % by weight

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Mn_3O_4	Fe_2O_3	LOI
1.32	2.37	28.14	51.62	0.63	0.28	3.35	3.02	1.21	0.07	6.34	2.13



Rys. 1. Analiza SEM popiołu lotnego; morfologia ziren :15 keV, 450x

Fig. 1. SEM analysis of fly ash; ziren morphology :15 keV, 450x

Tab. 2. Skład mineralogiczny popiołu lotnego oznaczonego metodą XRD

Tab. 2. Mineralogical composition of fly ash determined by XRD method

Faza	Udział, % mas.
Kwarc	5,2
Mulit	19,1
Anhydryt	0,2
Wapień	0,2
Hematyt	0,3
Magnetyt	0,2
Maghemit	1,6
Peryklaz	0,5
Amorficzna	72,7

2017(a); Żelazny S., Świnder H., i in.2017 (b); Żelazny S., Świnder H., i in.. 2020].

Materiały i metody

Badaniom poddano popiół lotny pochodzący z jednej z polskich elektrowni spalających węgiel kamienny w kotłach pyłowych. Dla pobranej próbki popiołu lotnego przeprowadzono analizę składu ziarnowego przy pomocy analizatora optycznego, analizę morfologiczną z zastosowaniem SEM--EDS oraz badania składu chemicznego.

Zawartość głównych składników (SiO_2, CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, MgO, Na_2O, P_2O_5, TiO_2) określono metodą spektrofotometrii fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją długości fali. Kalibrację wykonano w oparciu o materiały referencyjne. Oznaczanie zawartości tytanu wykonano techniką spektrometrii mas z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-MS). W badaniach zastosowano kwadrupolowy spektrometr mas (NexIon300s, Perkin-Elmer), wyposażony w automatyczny podajnik próbek S10 (Perkin-Elmer), pompę perystaltyczną, cykloniczną komorę mgielną, rozpylacz typu MiraMist, kwarcowy palnik, platynowe stożki, układ optyki jonowej, analizator kwadrupolowy oraz detektor działający w systemie dwutrybowym. Wszystkie odczynniki zastosowane w badaniach charakteryzowały się czystością cz.d.a. lub sp.cz. Roztwory przygotowywano z użyciem wody dejonizowanej o wysokiej czystości (Direct-Q3 UV, Millipore), o przewodności elektrycznej właściwej <0,06 µS/cm. Stosowano węglan sodu cz.d.a.,oraz kwas chlorowodorowy 35% cz.d.a., wodę amoniakalną 25% i dihydrat kwasu szczawiowego firmy Avantor Performance Materials Poland S.A.

W pierwszym etapie przeprowadzono aktywację popiołu lotnego. W tym celu mieszaninę popiołu i węglanu sodu, w stosunku wagowym 1:1,1 ogrzewano przez 1 godzinę w temperaturze 1173K. Po ostudzeniu otrzymany spiek rozdrobniono do ziaren o średnicy poniżej 1 mm, a następnie dodano kwas chlorowodorowy w takiej ilości, aby stosunek wagowy kwasu do spieku wynosił 5 do 1.

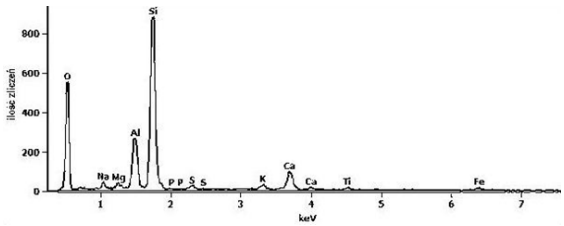
W przesączu oznaczono zawartość wybranych metali. Do oznaczenia zawartości składu pierwiastkowego, w tym tytanu zastosowano metodę ICP-MS ze wzbudzeniem plazmowym. Próbkę analityczną przygotowano do analizy, bazując na procedurze własnej opartej o zmodyfikowaną metodę opisaną w pracy [Świnder i in., 2017]. Po odsączeniu wytrąconej krzemionki, do pozostałego roztworu dodawano 35% roztwór wody amoniakalnej do uzyskania pH=2, a następnie dodano kwas szczawiowy. Po odsączeniu, wytrącony osadu wyprażono w temperaturze 923K przez 1 godzinę. Otrzymany osad został poddany badaniom, celem określenia zawartości tytanu (jako TiO_2).

Analizę morfologiczną przeprowadzono z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM firmy HITACH SU-3500 N, współpracującego ze spektroskopem promieniowania X z dyspersją energii EDS UltraDry firmy Thermo Scientific NORAN System 7. Skład fazowy określano przy pomocy rentgenowskiej dyfrakcji proszkowej (PANalytical Emprean).

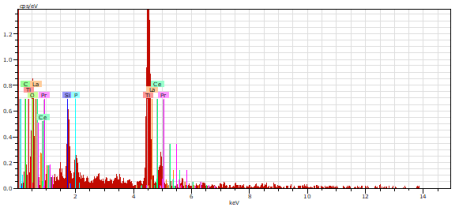
Wyniki badań i ich omówienie

Skład chemiczny badanego popiołu lotnego przedstawiono w tabeli 1. Dominującą rolę odgrywała w nim krzemionka (SiO_2), stanowiąca ponad 50% mas. badanego popiołu.

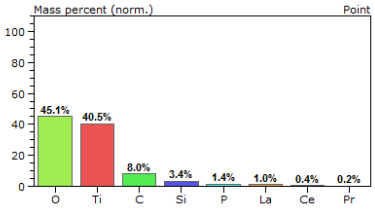
W badanym popiele lotnym dominują frakcje drobnoziarniste. Charakterystyka popiołu badanego, ze względu na kształt ziaren wykazała, że ziarna koliste stanowią 40% objętości badanej próbki (rys. 1.)



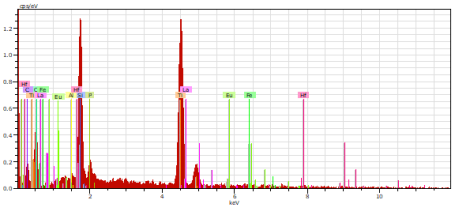
Rys. 2. Analiza SEM-EDS próbki popiołu lotnego; przykładowe jakościowe widmo rentgenowskie
Fig. 2. SEM-EDS analysis of fly ash sample; example qualitative X-ray spectrum



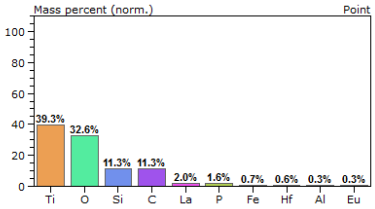
Rys. 3. T=973K, kwas chlorowodorowy
Fig. 3. T=973K, hydrochloric acid



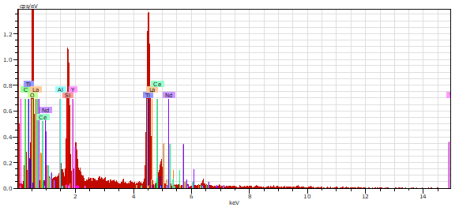
Rys. 4. T=973K, kwas chlorowodorowy
Fig. 4. T=973K, hydrochloric acid



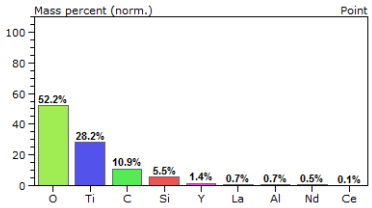
Rys. 5. T=973K, kwas azotowy(V)
Fig. 5. T=973K, nitric acid(V)



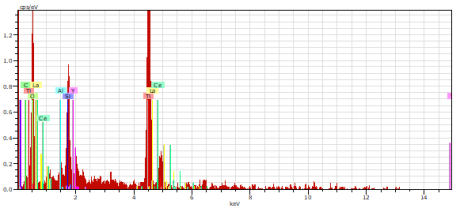
Rys. 6. T=973K, kwas azotowy(V)
Fig. 6. T=973K, nitric acid(V)



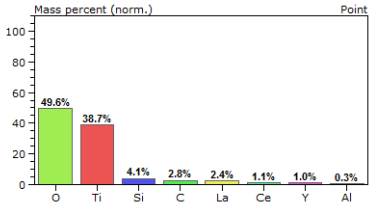
Rys 7. T=1023K, kwas chlorowodorowy
Fig. 7. T=1023K, hydrochloric acid



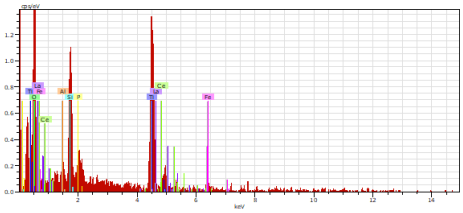
Rys. 8. T=1023K, kwas chlorowodorowy
Fig. 8. T=1023K, hydrochloric acid



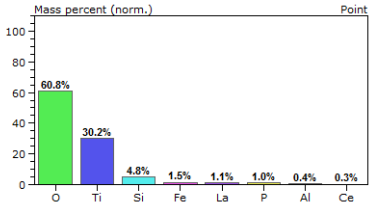
Rys. 9. T=1023K, kwas azotowy(V)
Fig. 9. T=1023K, nitric acid(V)



Rys. 10. T=1023K, kwas azotowy(V)
Fig. 10. T=1023K, nitric acid(V)



Rys. 11. T=1083K, kwas chlorowodorowy
Fig. 11. T=1083K, hydrochloric acid



Rys. 12. T=1083K, kwas chlorowodorowy
Fig. 12. T=1083K, hydrochloric acid

Analizę chemiczną przeprowadzono z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (rys.2).

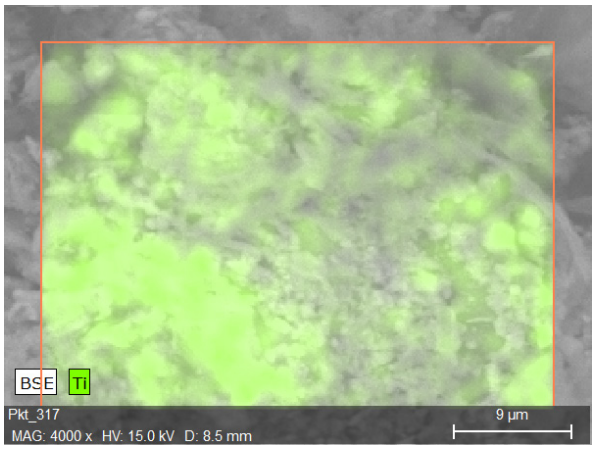
Skład mineralny badanego popiołu przedstawiono w tabeli 2.

Zawartość tytanu w produktach otrzymanych po wyprażeniu osadów wytrąconych po procesie termicznej aktywacji węglanem sodu i ługowaniem kwasem chlorowodorowym oraz azotowym (V) przedstawiono na rysunkach 3–12.

Na rysunku 13 przedstawiono przykładowy obraz SEM otrzymanego koncentratu tytanu.

Wnioski

Wzrost temperatury aktywacji popiołu lotnego węglanem sodu spowodował wzrost stopnia odzysku tytanu od 39,3% dla temperatury 973K do 60,8% dla temperatury 1083K. Przeciętna zawartość tytanu w otrzymanym produkcie, w przeliczeniu na TiO_2, wynosiła 82,3%. Zastąpienie kwasu chlorowodorowego kwasem azotowym(V), w procesie ługowania produktu otrzymanego w procesie termicznej aktywacji popiołu węglanem sodu, spowodowało zmniejszenie zawartości



Rys. 13. Obraz SEM (maping) powierzchni otrzymanego koncentratu tytanu

Fig. 13. SEM image (mapping) of the surface of the obtained titanium concentrate

tytanu odpowiednio z 45,1% do 39,3% dla temperatury 973K oraz z 52,2% do 49,6% dla temperatury 1023K.

Efektem realizacji przeprowadzonych prac było zgłoszenie w dniu 09.11.2021r. do Urzędu Patentowego RP wynalazku pt. „Sposób odzysku tytanu z popiołów lotnych" (P.437767).

Podziękowanie

Praca ta była sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP (Działalność statutowa Głównego Instytutu Górnictwa, zadanie nr 11182010-335).

Literatura – References

1. Barksdale J.: The Encyclopedia of the Chemical Elements. Skokie, Illinois: Reinhold Book Corporation, s. 732–738, 1968.
2. Blisset R.S., Smalley N., Rowson N.A. Fuel, 119, 1, s. 236, 2014.
3. Charewicz W. (pod redakcją), Pierwiastki ziem rzadkich. Surowce, technologie, zastosowania, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1990.
4. Emsley J. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. Oxford: Oxford University Press, s. 451–455, 2001.
5. Encyclopedia Britannica Concise: Titanium. 2007.
6. Fathi H. (red.) Handbook of Extractive Metallurgy, Weinham: Wiley-VCH, 1997.
7. Mayfield D.B. Lewis A.S. Environmental Review of Coal Ash as a Resource for Rare Earth and Strategic Elements, World of Coal Ash (WOCA) Conference - April 22-25, in Lexington, KY, 2013.
8. Seredin V.V. Rare earth elements in germanium-bearing coal seams of the Spetsugli deposit. Geological Ore Deposits 47, s. 265-284, 2013.
9. Żelazny S., Świnder H., Białecka B., Jarosiński A. Odzysk pierwiastków ziem rzadkich z popiołów lotnych. Cz. I Ługowanie. Przemysł Chemiczny, 96/11, s. 2279-2283, 2017, DOI 10.15199/62.2017.11.13.
10. Żelazny S., Świnder H., Białecka B., Jarosiński A. Odzysk pierwiastków ziem rzadkich z popiołów lotnych. Cz. II Wytrącanie z roztworu. Przemysł Chemiczny, 96/11, s. 2284-2290, 2017, DOI 10.15199/62.2017.11.14.
11. Żelazny S., Świnder H., Jarosiński A., Białecka B. The recovery of rare-earth metals from fly ash using alkali pre-treatment with sodium hydroxide Mineral resources management 2020. Volume 36 Issue 3 Pages 5–30, DOI: 10.24425/gsm.2020.133930.

Obtaining titanium concentrates from fly ash

The purpose of the study was to highlight the possibility of using fly ash from coal combustion as a source of titanium concentrates. The research work carried out was aimed at determining the conditions for pretreatment of fly ash by alkaline thermal activation with sodium carbonate and their effect on the release of titanium compounds in the hydrometallurgical process. The process was carried out for mixtures of ash and sodium carbonate in a weight ratio of 1 to 1.1. The resulting mixtures were heated for 1 hour at temperatures of 973K, 1023K and 1083K. After cooling and grinding, the resulting reaction residue was washed with hydrochloric acid and nitric acid (V). The results of chemical analysis and scanning microscopic analysis, together with EDS and X-ray analysis, were used to determine the chemical and physical properties of the tested substrates and fly ash treatment products. An analysis of the possibility of separating titanium concentrates from fly ash generated during the combustion process in pulverized fuel boilers of selected domestic power plants was carried out. The dependence of titanium concentration in the obtained concentrate on the temperature of the activation process and on the type of acid in the hydrometallurgical treatment process was found. The content of titanium in the obtained concentrates ranged from 39.3% to 60.8%, which corresponds to the content of this element in currently exploited titanium ores.

Keywords: *fly ash, titanium, hydrometallurgy*

A System for Monitoring the Position of Brown Coal Bucket-Whell Excavators and their Operational Safety

Vít SLÁDEK[2], Stanislav DEJL[1], Roman KAPICA[5], Dana VRUBLOVÁ[3], Roman BAUER[4]*

[1] VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Geodesy and Mine Surveying, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 00, Czech Republic; ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2666-2127
[2] VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of of mining engineering and safety, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 00, Czech Republic; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0696-9457
[3] VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Institute of Combined Studies in Most, Dělnická 21, Most, Czech Republic; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9690-2268
[4] VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of of mining engineering and safety, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 00, Czech Republic; ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1616-9086
5) VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Geodesy and Mine Surveying, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 00, Czech Republic; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1843-9823
* Corresponding author: dejl@sdas.cz

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-59

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

The purpose of the system for real-time tracking of mining excavator and loader positions is to improve the management and control of brown coal mining in opencast mines and to improve work safety.
The system calculates the wheel excavator position using data from GNSS equipment installed on the giant mining machines, inclinometers and inertial measurement units located on each mining machine. Data are transmitted from the machines and stored in databases on servers. Visualization of the wheel excavator movement in real time is performed in software products of KVASoftware s.r.o., which enables work with a digital terrain model, geology of the deposit and overburden, including objects impairing safety work. The article describes the procedure of data preparation and setting up the whole system in different levels of KVASoftvare s.r.o. software products. It also describes in detail its use with regard to the safety of work in heavy mining operations, specifically in areas affected by underground mining or areas dangerous due to the occurrence of tectonic deformations in the overburden and in the seam.

Keywords: *bucket-wheel excavator, digital terrain model, GNSS, brown coal mining, photogrammetry, UAV, point cloud, cubic capacity calculation, coal mining safety, tectonic deformations*

1. Introduction

Brown coal mining is still an important industry in the Czech Republic, despite a significant decline in production over the last twenty years. 2018 over 38 million tons of brown coal were mined [1].

Reliable supplies of domestic lignite are a balancing element of the Czech energy sector. In recent years, lignite has still been used to generate just over 40% of the electricity consumed in the Czech Republic [2], up from 43% in 2018.

At present, lignite mining in the Czech Republic is concentrated in several large open pit mines in the "Mostecká Basin" and the "Sokolov Basin" and takes place in increasingly more complicated mining-geological and economic conditions. Therefore, lignite mining companies are looking for additional ways to better monitor, control, plan and subsequently manage the procedures of bucket-wheel excavators and make the entire mining process more technically and economically effective.

One of the important ways of this process is to monitor the spatial position of the bucket-wheel excavator of the mining machines (bucket-wheel excavator and loaders). The system for monitoring the position of the machines is deployed at "Nástup Tušimice Mine, Bílina Mine and Sokolovská uhelná a. s." installation at "Vršany" quarry is under preparation (Fig. 1). Many dozens of excavators and loaders are monitored.

According to the information available from excursions in the past years, a similar system is used at lignite mines in Germany (Mibrag) and in Poland (Belchatow). However, the systems only provide information about the location and the mined masses [13]. They do not deal with geology or safety risks [14].

2. Basic components of the system

All mining companies in the Czech Republic are using a digital format of map documentation for open-pit lignite mining. At Severočeské doly a.s., a complex digital model of the quarry is used – software from KVASoftware s.r.o. called „Báňský model – Mining Model)". It includes not only a digital terrain model but also a digital geological model of the coal seam and overburden layers.

The software enables the creation of maps and provides the means for various calculations and analyses necessary for planning and controlling the operation of the quarry. This software is used as an environment for real-time visualization of the position and movement of mining giant machines.

The " Báňský model – Mining Model" software is followed by the "Technologický model – Technology Model" software,

Fig. 1. View of the Bílina quarry (8/2019) from the south towards the Krušné hory
Rys. 1. Widok na kamieniołom Bílina (8/2019) od południa w stronę Krušné hory

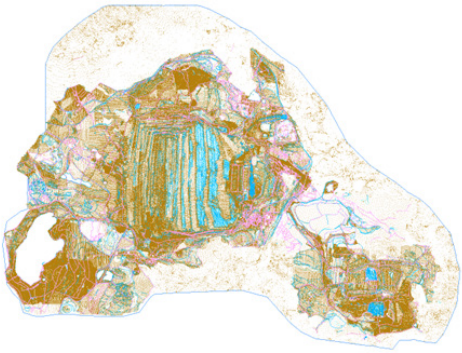


Fig. 2. Digital terrain model including the open pit mine surroundings
Rys. 2. Cyfrowy model terenu z uwzględnieniem otoczenia kopalni odkrywkowej

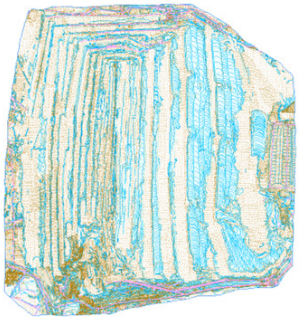


Fig. 3. Digital terrain model reduced to the active open pit mine area
Rys. 3. Cyfrowy model terenu zredukowany do obszaru czynnej kopalni odkrywkowej

which is a reduced version of the Mining Model used for checking the procedures of large machines for the technicians managing the mining. An even simpler version is the " GNSS_Rkabina – GNSS extractor Cabin" program, which is installed on excavators, and the " GNSS_Zkabina – GNSS stacker Cabin" program, which is installed on the stackers. In both cases, it is used by the drivers of the giant mining machines to maintain technological discipline and ensure safety work.

The system for calculating the spatial position of the wheel consists of three basic elements [3]:

- Measuring segment (data collection) (GNSS receivers, receivers and sensors, control unit) [11], [12],
- Communication segment (transfer of data from the instruments to the servers and after calculations back to the large-scale machines and to other users),
- End user segment (evaluation and user software company. KVASoftware s.r.o. – Mining model, Technology model, GNSS extractor Cabin, GNSS stacker Cabin).

By surveying measurements directly on the excavator, the parameters for the derivation of mathematical relations necessary for the calculation of the spatial position of the center of the excavator wheel axis were determined [7]. These are mainly the distances of the individual measuring instruments (GNSS, inclinometers, inclement speed sensors) in relation to each other and to some mechanical "nodes" of the excavator structure [9]. Subsequently, an algorithm [8] was developed that incorporated the results of the measurements of the individual measuring and gauging instruments and allowed calculations of the spatial position of the wheel centre in any general position of the excavator [10]. Somewhat more complex is the modelling of the shape of the material to be placed on the spoil heap by tracked stackers using the throw parabola [4].

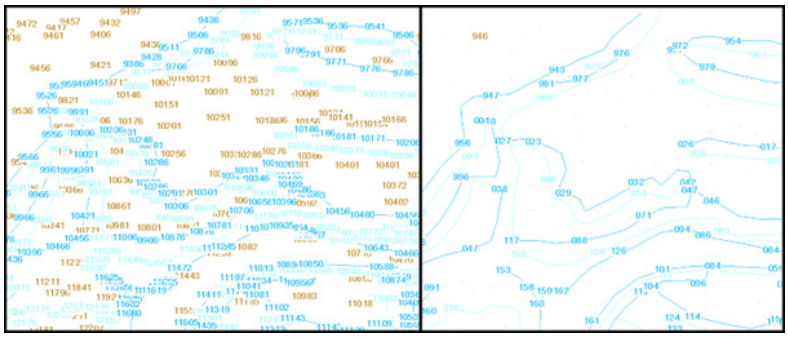


Fig. 4. Reduction of dimensions
Rys. 4 Redukcja liczby warstwic

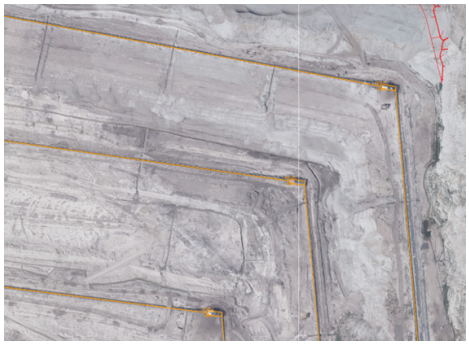


Fig. 5. DT model
Rys. 5 Model transportu taśmowego w kopalni (DT)

3. Data preparation process and system setup

The "Bílina" (DB) and "Tušimice" (DNT) brown coal quarries are surveyed by digital photogrammetry 10 to 12 times per a year. Until 2021, aerial photogrammetry was used at "Severočeské doly a.s." using manned aircraft, supplied by PRIMIS spol. s r. o. The processing of measurement images, creation of stereoscopic perception, evaluation and creation of orthophoto maps were carried out by the mines' employees in the software INPHO (MATCH-AT , SUMMIT EVOLUTION, ORTO VISTA) Since 2021, the " DRON – MRAČNO – DRON-CLOUD" method has been used for targeting the fracture, which is a photogrammetric method using images taken by a camera carried by an unmanned aerial system (UAV) [5]. In fact the DJI M300 RTK quadcopter with a DJI Zenmuse P1 camera is used. Data processing for terrain models is performed in CARLSON software. The transition to the new method of mapping coal blast furnaces has brought a series of problems. For more information, please see Chapter 6.

The results of the photogrammetric measurements are exported to a *.txt file, where each model line (edge, heel, point on the platform) has its specific designation. When using point clouds, it is practically a "manual vectorization" of point clouds. The *.txt file is further imported into the SW Atlas (DB) or SW KVAS (DNT) environment, which can recognize the model lines in the txt file and create sub-evaluation areas. Subsequently, the overall digital terrain model is updated with the newly evaluated areas. Next to be evaluated is the long-distance belt traffic, which is the basis of the transport technology model (chapter 3.2).

3.1 The digital terrain model update

In order to monitor the position of the excavator wheel in real-time on the current state of the digital terrain model, it is necessary to import the updated terrain model from the sw Atlas and KVAS environment into the Mining Model environment and to modify the imported data or to add other models necessary for the operation of the excavator wheel and loader position monitoring system. The import will produce a digital terrain model of the brown coal quarry and its surrounding area (Fig. 2) in GNL format. This model is data intensive for computing technology, so it is necessary to reduce the model to the active area of the open pit mine (Fig. 3).

For a better visual perception on the screen, the attitude model is rotated north to east. The refraction process is then oriented upwards.

The last step in the preparation of the digital terrain model is to generate a triangular mesh that encloses each point on the model. For clarity, the dimensions are reduced with the selected differentiation (Fig. 4).

3.2 The transport belt model upgrade (DT model)

The long-distance belt-based conveyor model, the so-called transport technology model, abbreviated DT model (Fig. 5), contains information about the mining technology and must also be updated. The updating is done by linking the old belt position to the new one. When connecting or moving the passages, the connection between the individual segments must be maintained so that the overall extraction acts as a whole and thus the flow and calculation of the extracted masses is maintained.

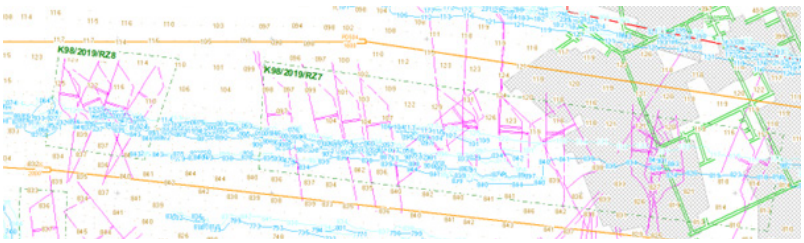


Fig. 6. Risk zones and tectonic faults
Rys. 6. Strefy ryzyka i uskoki tektoniczne

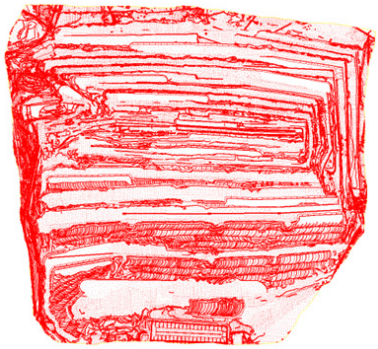


Fig. 7. Digital model of Technical Modes
Rys. 7. Numeryczny model Trybu Technicznego

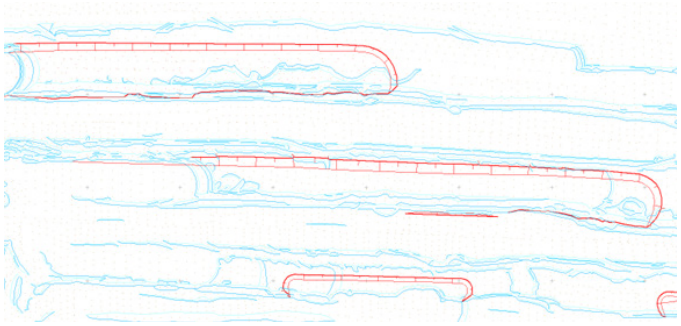


Fig. 8. Planned mining processes
Rys. 8. Projekt procesu urabiania

3.3 The further updates

To complement the excavator and loader wheel tracking system, they update the risk zones, which are areas with frequent tectonic faults (Fig. 6). Separately, the "TEKTONIKA model" is created by geologists. It is a model of the intersection of tectonic faults with the actual and projected terrain, shown in purple color. These zones, tectonic faults, including fractured boreholes, are indicated by the system with a warning signal. For safety reasons, these risks are also physically marked out in the field with wooden stakes in the events of system failure.

The mining pit contains many unlined mine tunnels from the era of underground mining. As there is a risk of mining equipment or persons falling into the unmined areas, for safety reasons a model "HLUBINA – UNDERGROUND" is being created based on old mining maps. As mining progresses, these corridors must be plundered and then secured with wind protection objects. These shortened mine runs must be updated in the HLUBINA model.

3.4 Technical mode

Every month, the Department of Preparation and production of company Severočeské doly a. s. prepares the procedures of wheel excavators and stackers. This is a project of the procedures of large machines and this project is referred to as "technical mode" (TR). These processes are based on the digital terrain model and create the boundary of quarrying and stacking at each stage (Fig. 7). The creation of the technical mode in the Mining Model is similar to the creation of the digital terrain model. For clarity and to differentiate the TR model from the digital terrain model, the TR model is supplemented with stockpiles marks of the spoil, coal, and embedment's. After the technical model is created the TECHNICAL MODE takes data a do converts by simply copying the data into the Mining Model directory as a so-called reference model.

3.5 The data completion

In order for the excavator and loader tracking system to contain complete information, it is necessary to combine the models created into a unified dataset. The digital terrain model creates the base model, to which the models "TEKTONIKA, TECHNICKÝ MODEL a HLUBINA" are subsequently connected. For information on the composition of the rock

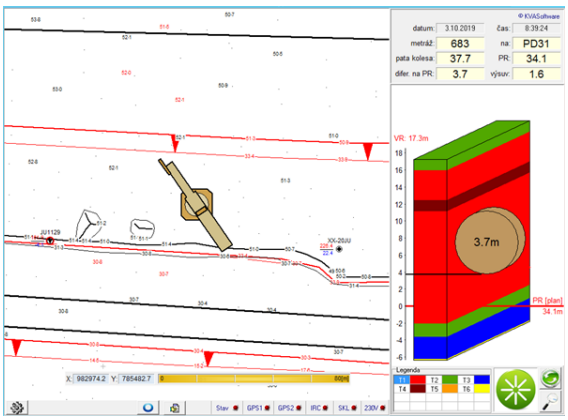


Fig. 9. Model GNSS Rkabina – GNSS extractor Cabin the current position and height of the excavator on the screen in the cab of the mining giant machine

Rys. 9. Model GNSS Rkabina – ekstraktor GNSS Kabina z aktualnym położeniem i wysokością koparki na ekranie w kabinie wielkogabarytowej maszyny górniczej

Fig. 10. The driver's cabin of the mining giant machine – on the right the screen with the "GPS cab" application

Rys. 10. Kabina kierowcy wielkogabarytowejj maszyny górniczej – po prawej stronie ekran z aplikacją „GPS cab"

mass, a geological model is added, which is created and updated by the geology department.

THE TECHNICAL MODE model is based on a digital terrain model, it contains many identical/similar vectors that unnecessarily overtake too much of the computer memory. This load is solved by deleting these vectors, taking only the vectors representing the planned procedures (Fig. 8).

3.6 The Cabin model

In order to get all the created data onto the screens in the cabin of the excavators or loaders, a so-called "model KABINA - CABIN model" must be created (Fig. 9). This is the compressed data for the "GNSS_Rkabina – GNSS extractor Cabin" and "GNSS_Zkabina – GNSS stacker Cabin" programs. These are the applications that help the drivers in the control of the mining giant machines equipment. They display in a simplified form information about the position of the giant mining machine, the geological structure of the rock mass at the mining site and the projected procedure (technical mode), including safety risk objects. Both KABINA´s models are then distributed on portable media to computers on each of the giant mining machines.

4. Applications, what the system allows

Applications have been developed in the software Mining Model environment that provides the necessary tools for controlling and managing the mining process. With wheeled excavators, it is important to keep the dimensions and shape mining block. In the KABINA model, the driver of the excavator has tools that make it easy to keep to the specified level of the working plain and the area of the excavation (Fig. 10). Data on the position and height of the wheel every 5 seconds gives him immediate feedback. This is important both for the overall mining concept and for the dewatering of the mine workings. Figure 9 and volume: 17.3m is the actual cut height. This helps to maintain the prescribed cut height limit, which has a positive effect on slope stability.

The technicians have the possibility to immediately check the implementation of the plan - for example, the parameters of the approved Technical Mode for the month in the "Technologický model – Technology Model" software. Figure 11 shows the situation at the KU300.8/68 excavator on 1 October 2019 at 8:47 AM. It shows the initial state, i.e. the oriented coal section as of 29.8.2019 (1), the Technical Regime for October 2019 (2), the schematized position of the excavator at 8:47 am (3) and the vertical profile of the coal seam with the wheel position (4) in real-time. The red horizontal line in profile (5) denotes the level of the planned excavator running plane. The profile shows that the lowest point of the wheel is 1.6 m above the planned running plane. From the table in Figure 11, bottom right, we can read some important data about the ongoing mining. On October 1, 2019, at 8:47 a.m., coal was mined with a calorific value of Qr=16.7 MJ/kg and an ash content of Ad=12.81%, which is T1 coal (in red in the profile). The shaded grey area on the map shows where the excavator has mined in the past (where the wheel was). Excavator mining or soil placement on the spoil heap can be observed in the spatial view (Fig. 12).

The real-time spatial tracking of the wheel excavator center helps to accomplish one relatively brand-new task very well. This is the creation of map documentation in connection with payments from extracted minerals according to Act No.

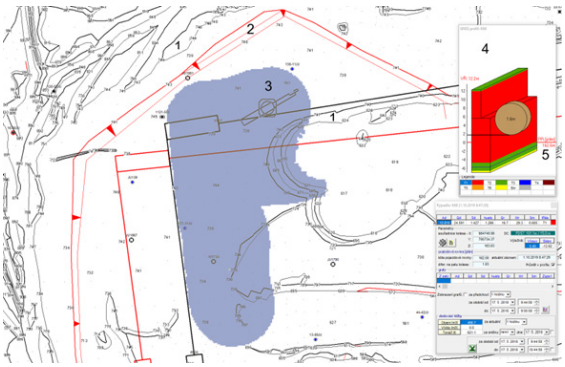


Fig. 11. Application "Technological model" for control and management of mining plan compliance – Bílina Mines, position of excavator K300.8/68 on 1 October 2019 at 8:47 AM

Rys. 11. Aplikacja „Model technologiczny" do kontroli i zarządzania zgodnością z planem górniczym – Kopalnia Bílina, stanowisko koparki K300.8/68 w dniu 1 października 2019 r. o godz. 8:47

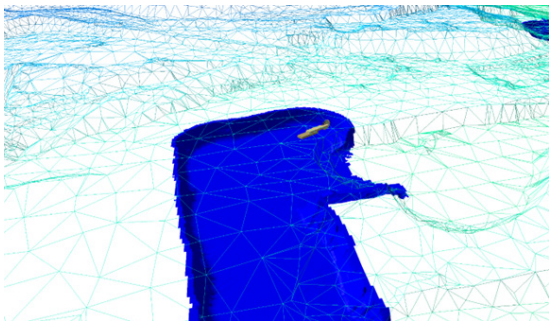


Fig. 12. Excavator K300.8/68 on 1 October 2019 at 8:47 AM. in 3D

Rys. 12. Koparka K300.8/68 w dniu 1 października 2019 r. o godzinie 8:47. w 3D

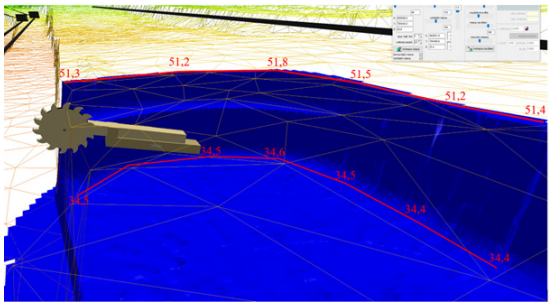


Fig. 13. The principle of digitizing the status of the coal cut – excavator KU300.40/102 on October 1, 2019 at 11:52 a.m. in 3D

Rys. 13. Zasada digitalizacji stanu urobku – koparka KU300.40/102 1 października 2019 o godzinie 11:52 w 3D

225/2017 Coll., amending Act No. 44/1988 Coll. on the protection and use of mineral wealth (Mining Act). This Act regulates the reimbursement from lignite extraction by opencast mining in such a way that the partial basis of the reimbursement from lignite extracted by opencast mining is the amount of heat contained in the extracted lignite in a calendar year. The system makes it possible to obtain the state of coal cuts exactly as of 31 December, 24:00 of the current year, by creating a vector map at that moment from a spatially visualized model of the state of the cut. By hovering over any point on this spatial representation of the cut (in blue in Figure 13), X, Y and Z coordinates can be obtained and vectors of, for example, the top and bottom edges of the cut can be created. By "evaluating" the new state in this way, the base model can be updated at a date beyond the standard aerial photogrammetry evaluation date and the appropriate map documentation can be produced.

The evaluation (vectorization) of the mining line state is similar to photogrammetric systems. The evaluator selects the code of the line to be evaluated, for example, the upper edge of the section, and selects the first point of the line in the digital map (in Figure 14 in the left window). Then he switches to the spatial view (in Figure 14, right window) and finds the points of the upper edge. In the 2D view, a polygon of the top edge is created with the points. It then selects the code of, for example, the lower edge of the cut and evaluates the line. Finally, it evaluates the points on the platform created by the excavator procedure and the new state of the cut at the selected date and time is evaluated.

Mining Surveying:

The driver of the giant machine can see the relations of the mining wheel and the displayed mining lines and selected objects on the computer screen located in his cabin. Some measuring activities are reduced or duplicated (safety increase):

- surveying and indicating of excavator mining procedures,

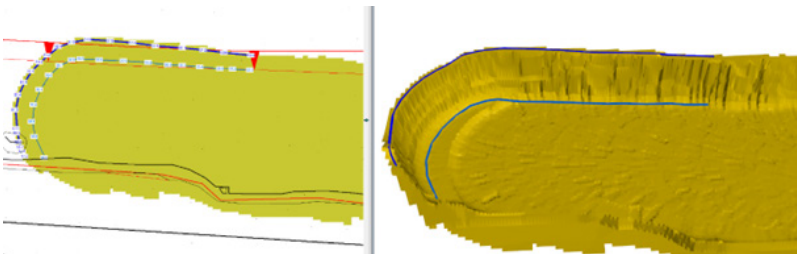


Fig. 14. Condition assessment of excavator KU300.40/102 on 3 October 2019 at 18:02
Rys. 14. Ocena stanu koparki KU300.40/102 w dniu 3 października 2019 r. o godz. 18:02

- surveying and indicating boreholes with abandoned equipment (which can damage the rubber belt of conveyor belts),
- surveying, indicating and marking certain areas of former underground mining (e.g. chambers, shafts, corridors),
- surveying and marking tectonic lines,
- the software allows us to perform approximate calculations of the volumes of extracted materials.

Geology:

The driver of the giant mining machine sees the relationship between the wheel and the geological layers on a PC screen located in his cabin. This allows him to better orient himself in following the designed mining trails in the profile descriptions (profile passport).

Production:

- The Production management and back-monitoring of production targets have been improved, essentially in real-time,
- An application has been developed that allows the big rig driver to adhere much more accurately to the designed cutting geometry, especially the height levels of the excavator working planes. At the same time, it is possible to verify when a possible violation of the design procedure has occurred and therefore by which responsible employee,
- The overview of the quality parameters of the currently mined coal for all excavators comes.

Geotechnics and Mining Safety

- The "GNSS_Rkabina" application, which is used by the driver of the large machine, provides information on the current cutting height achieved in addition to the data for technological discipline. Compliance with this will have a positive effect on slope stability,
- The operator of the giant mining machine is also informed of the cased boreholes, the historical deep mining and the degree of danger of the approaching tectonic line and applies the technological procedure prescribed as adequate to ensure slope stability and mining safety in such a case.

5. Applications and occupational safety in open pit mining

Drilled boreholes:

- Boreholes with abandoned equipment (cased boreholes) pose a risk primarily to the mining technology, less so to occupational safety. The rubber belt on the conveyor belt can be damaged when the casing is "loaded", or in a worse case, the excavator can be damaged.
- The drilled boreholes are marked out in the field by surveyors with wooden stakes before the excavator proceeds.
- In addition, the boreholes are displayed on the cabin display. The excavator display changes dynamically according to the current position of the excavator. When approaching a wellbore beyond a specified limiting distance, the surroundings of the well "flash", the current distance of the wheel from the well begins to be displayed and an audible signal sounds (see Figure 15).

Mining in areas affected by underground mining:

- In the areas affected by underground mining, there is a risk of equipment or persons falling into unconfined/unsealed areas. A further danger is the possibility of 'uploading' equipment left in the passages of old mine workings, including in cave-in areas.
- Therefore, similar to boreholes, these mine workings are marked out in the field with wooden stakes by mining surveyors.
- The corridors in the driver's excavator cabin are shown in green as lines even with the origin and the broken surfaces are shown as grey polygons.

Mining in tectonic fracture zones [6]:

- In areas where tectonic zones are present, there is a risk of a block of soil/dirt sliding onto the wheel excavator, damaging the wheel or the entire excavator structure (Fig. 16).
- For these areas, company SD a. s. has developed a methodology for determining the level of risk, which is dependent on the orientation of the tectonic fault to the direction of excavator advance, fault dip, section height, and the nature of the fault surface. Faults can thus represent low risk, medium risk or high risk.
- If a break/fracture is assessed as high risk at the time of designing procedures, it is necessary to take early measures for its successful and safe removal at the process of mining preparation.
- Low-risk breaks/fractures will not cause problems during mining.
- For medium-risk break/fractures, risks can be eliminated without significant changes in planning procedures. The mining technology is modified to

improve safety, which can limit mining output at most. It is these faults that the software alerts excavator drivers to.

- The break/fracture is also defined spatially in the software and when the wheel of excavators approaches the plan area of one of the faults, it calculates the overall risk. Subsequently, the fault plan view will appear black on the screen, and the text "WARNING: excavator mining wheel in a geological fracture zone" will appear on the screen, along with the risk value (from a value of 30 upwards). This is also accompanied by an audible signal (Fig. 17).

6. Discussions

The real-time tracking system for excavators and loaders has made a number of changes, usually improvements, since 2008. This has mainly been in the area of user programs fi. KVASoftware s.r.o. All were based on the requirements of end users. Over the years, most of the hardware components of the system have been gradually replaced, including the industrial computers with monitors in the cabs of the drivers of the giant mining machines.

The system was adversely affected by the transition to a new method of mapping DB and DNT velocity quadrats, namely the transition from conventional aerial photogrammetry to the "DRON-MRAIN" method, as mentioned in Chapter 3.

This new method is not commonly used for large quarries such as the "Nástup Tušimice" or "Bílina" mines and brings us many difficulties [7]. Small-scale colour photogrammetry imaging is carried out 8-10 times a year and includes scraper and coal cuts, side shutter slopes and dumps. The areal volume is 39.4 km2 and 23.6 km2 on the DNT. Large-scale colour imaging is carried out twice a year and includes in addition areas for recultivation and pre-fiels. The large-scale LMS volume is 55,3 km2 and 45 km2 on the DNT. This method has many disadvantages on this scale.

The first challenge is the weather. For small-scale open pit, two days of good weather are needed for each site, or one day with two drones. For a large-scale open pit, it is more than double that. One day, or 2–4 hours of good weather, was enough for the aircraft. If, for example, the weather does not favour it in the autumn and winter months, there are delays and cancellations. A further complication of this method is the need for more than twice the number of points in the field to achieve the necessary accuracy (Standard No. 435/1992 ČBÚ). This increased the field measurement work for stabilization and targeting of "VB – ELEVATION POINT" (reference), compounded by delays in image collection work and need to do repeating imaging during bad weather. Last but not least, the final product - point clouds – is a disadvantage. These are only useful for measurement work with "terrain" (cubic volumetric measurements, excavator and loader positions, etc.). They are completely useless for construction object planning, utilities, etc., compared to the aerial photogrammetry used previously. The changes to UAVs has resulted in an increase in measurement work in the field.

The use of two or more drones would be of great benefit for successful imaging, data processing and meeting deadlines. This would eliminate situations where contractual conditions (deadlines) are not met, but also where imaging deadlines are pushed back and "VB – ELEVATION POINT" is at risk of being destroyed. This is mainly the period from October to April when the weather is not suitable.

The new technology, on the opposite contrast, has been very successful in imaging smaller areas from lower altitudes, such as emergency imaging of slip areas on DB or extraordinary imaging of coal stockpiles on DNT.

7. Conclusions

The real-time measurement system for determining the position of the excavator wheel has proven its practical value in more than fourteen years since its deployment in 2009 in opencast brown coal mining. Currently (05/2023) the system is deployed on all 22 excavators of Severočeské doly a.s. At the Bílina site, 7 stackers are additionally equipped with a similar system. The system is a great tool for drivers of giant mining machines, production managers, production preparation technicians and last but not least surveyors and geologists. In addition, it is a great asset in the field of safety. Since 2015, when the Tectonic Fault Risk Assessment System was implemented in the Excavator Wheel Position Monitoring System applications, there have been no landslides that have had such a destructive impact as the K2000/101 excavator landslide on 11 May 2009. Similarly, there were no incidents related to the occurrence of unmined mine pit areas or cased boreholes. Even if all the precautions are taken and the system described above is used, the risks cannot be underestimated.

Funding: This work was supported by the Project for Specific University Research (SGS) No. SP2023/041 from the Faculty of Mining and Geology of VSB – Technical University of Ostrava & Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

Literatura – References

1. Hornická ročenka [Miner's Yearbook] 2018, Czech Mining Authority.
2. Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2018. Energy Regulatory Office.
3. Vrubel, M., Sládková, D., Talácko, M., New possibilities of GPS technology in mine surveying. In Proceedings of the 13th International Congress of ISM, Budapest, ISBN 978-963-9038-18-9, (2007).
4. Vrublová, D., Vrubel, M., Maňas, I., Nábělková, L., Surveying system for bucket wheel excavators and spreaders tracking as a contribution to automation of mining process at Severočeské doly a.s., In the Proceedings of the International Conference of Geodesy and Mining Surveying 2018: XXV. SDMG conference, 24-26. October 2018, Pilsen. VSB - Technical University of Ostrava, (2018), (in Czech).
5. Dandoš, R., Mozdřeň, K., Staňková, H., A new control mark for photogrammetry and its localization from single image using computer vision. Computer Standards and Interfaces. Elsevier Science, 2017, 56(February 2018), s. 41-48. ISSN 0920-5489. DOI: https://doi.org/10.1016/j.csi.2017.09.003
6. Kapica, R., Vrublová, D., Vrubel, M., The system of tracking the position of the bucket excavator's wheel for prevention of risk situations. Acta Geodyn. Geomater., 15, No. 3 (191), 277–287, (2018). DOI: https://doi.org/10.13168/AGG.2018.0020
7. Dejl, S., Sládek, V., Strahlheim, P., Nová metoda leteckého měřického snímkování na Severočeských Dolech a.s., In the Proceedings of the International Conference of Geodesy and Mining Surveying 2022, XXVIII. SDMG, z. s., conference 2022, ISBN 978-80-248-4644-6, (in Czech).
8. Vrublová, D., Kapica, R., Vrubel, M., Jiránková, E., Přesnost určování prostorové polohy kolesa rýpadel [Accuracy of the spatial position determination of excavator wheels] Zpravodaj hnědé uhlí. Most: Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s., 3/2015, p. 10-15, ISSN 1213-1660, (2015), (in Czech).
9. Jadviščok, P., Ovesná, G., Konečný, M., Multipath and its manifestations in the real environment of geodetic practice. Geodesy and Cartography. Taylor & Francis, 2016, 42(2), s. 47-52. ISSN 2029-6991. DOI: https://doi.org/10.3846/20296991.2016.1198573
10. Nebojša B. Gnjatović, Srđan M. Bošnjak, Ivan Lj. Milenović, Aleksandar Z. Stefanović, Bucket wheel excavators: Dynamic response as a criterion for validation of the total number of buckets, Engineering Structures, Volume 225, 111313, ISSN 0141-0296, (2020). DOI: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111313
11. J. Benndorf, Mike W. N. Buxton, Sensor-based real-time resource model reconciliation for improved mine production control – a conceptual framework. Mining Technology, 125:1, 54-64, (2016). DOI: https://doi.org/10.1080/14749009.2015.1107342
12. Al-Shrouf, N. Szczepański, D. Söffker, Online feature-based multisensor object detection system for bucket-wheel excavators. Int J Adv Manuf Technol 82, 1213–1226 (2016). DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-015-7375-9
13. Hlavatá, M.; Čablík, V.; Fečko, P.; Tora, B. Mining industry waste - legal regulations in the Czech Republic with focus on black coal mining. Inżynieria Mineralna. 2010, Vol. XI, 1(25)-2(26), s. 27-32. ISSN 1640-4920.
14. KIM, Thi Thu Huong; Tran Hong Ha; Bui Khac Luyen; Lipecki, T. : Mining-induced land subsidence detected by Sentinel-1 SAR images: an example from the historical Tadeusz Kościuszko salt mine at Wapno, Greater Poland Voivodeship, Poland, Inżynieria Mineralna, Journal of the Polish Mineral Engineering Society; 2021 vol.1 no.2, s. 41–52, DOI: https://doi.org/10.29227/IM-2021-02-04

System monitorowania położenia koparek i wielonaczyniowych węgla brunatnego i bezpieczeństwa ich pracy

Celem systemu śledzenia w czasie rzeczywistym pozycji koparek i ładowarek górniczych jest usprawnienie zarządzania i kontroli wydobycia węgla brunatnego w kopalniach odkrywkowych oraz poprawa bezpieczeństwa pracy. System oblicza położenie koparki kołowej wykorzystując dane z urządzeń GNSS zainstalowanych na gigantycznych maszynach górniczych, inklinometrów oraz inercyjnych jednostek pomiarowych znajdujących się na każdej maszynie górniczej. Dane przesyłane są z maszyn i przechowywane w bazach danych na serwerach. Wizualizacja ruchu koparki kołowej w czasie rzeczywistym realizowana jest w oprogramowaniu firmy KVASoftware s.r.o., które umożliwia pracę z cyfrowym modelem terenu, geologią złoża i nadkładu, w tym obiektami zagrażającymi bezpieczeństwu pracy. W artykule opisano procedurę przygotowania danych i konfiguracji całego systemu na różnych poziomach KVASoftvare s.r.o. produkty oprogramowania. Szczegółowo opisano także jego zastosowanie ze względu na bezpieczeństwo pracy w ciężkiej eksploatacji górniczej, szczególnie na terenach objętych eksploatacją podziemną lub na terenach niebezpiecznych ze względu na występowanie deformacji tektonicznych w nadkładzie i w pokładzie.

Słowa kluczowe: *koparka wielonaczyniowa, cyfrowy model terenu, GNSS, górnictwo węgla brunatnego, fotogrametria, UAV, chmura punktów, obliczanie kubatury, bezpieczeństwo górnictwa węgla kamiennego, deformacje tektoniczne*

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych ANN do prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach ścianowych wietnamskich kopalń antracytu

Truong Tien QUAN[1], Klaudia ZWOLIŃSKA-GLĄDYS[2], Rafał ŁUCZAK[3], Marek BOROWSKI[4]

[1] Institute of Mining Science and Technology, Hanoi, Vietnam
[2] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; ORCID: 0000-0003-4581-3489
[3] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; ORCID: 0000-0001-6897-8679
[4] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; ORCID: 0000-0003-4736-4824

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-60

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstrakt

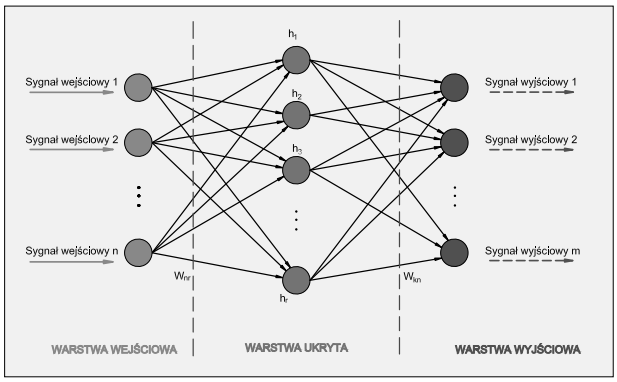
Aby zaspokoić rosnące zapotrzebowanie Wietnamu na energię, kopalnie zwiększają wydobycie węgla, przez co wzrasta głębność eksploatacji i zakładane są nowe poziomy wydobywcze na coraz większych głębokościach. Wzrost intensywności i efektywności wydobycia może być realizowany poprzez wydajne kompleksy ścianowe o dużej mocy elektrycznej maszyn i urządzeń. Warunki klimatyczne w Wietnamie, warunki geologiczne zalegania pokładów węgla, głębokości eksploatacji, zastosowanie maszyn o większej mocy elektrycznej, mechanizacja robót górniczych przyczyniają się do wzrostu temperatury powietrza w podziemnych wyrobiskach górniczych. W celu zapewnienia wymaganych warunków pracy górników należy zwiększyć efektywność wentylacji wyrobisk. Niestety nie zawsze jest to niewystarczające dla zapewnienia wymaganych warunków i konieczne jest zastosowanie układów chłodzenia powietrza z wykorzystaniem systemów klimatyzacji. Na zmiany temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych wpływa wiele czynników naturalnych i technicznych oraz organizacyjnych, które trudno je ująć metodami analitycznymi. Dlatego do prognozowania temperatury zaproponowano metodę opartą na modelu sztucznej sieci neuronowej ANN, która umożliwia prognozowanie temperatury w powietrza wyrobisk ścianowych. Wyniki prognozy temperatury powietrza zostały porównane z danymi pomiarowymi. Z przeprowadzonych analiz wynika, że dane rzeczywiste i prognozowane są ze sobą zgodne, dlatego przedstawiona metoda może być wykorzystana jako narzędzie służb górniczych w walce z zagrożeniem klimatycznym w wyrobiskach podziemnych.

Słowa kluczowe: *kopalnie antracytu, zmechanizowane systemy eksploatacji, warunki klimatyczne, prognozowanie temperatury, sztuczne sieci neuronowe (ANNs)*

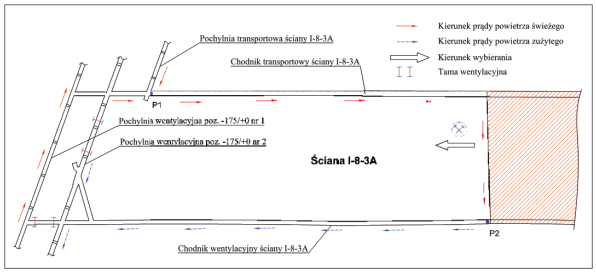
1. Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującymi w Wietnamie przepisami dopuszczalna temperatura powietrza w miejscu pracy w kopalniach podziemnych nie powinna przekraczać 30°C [1, 2]. W celu osiągnięcia wymaganych przepisami warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych, konieczne jest zapewnienie wymaganego rozpływu powietrza lub zastosowanie urządzeń chłodniczych [3]. Jednak w warunkach kopalń podziemnych zapewnienie wymaganych i niezmiennych w czasie warunków mikroklimatu na stanowiskach pracy nie jest możliwe. Prognozowanie temperatury powietrza na wylocie ze ścian daje podstawę do zaprojektowania odpowiednio wydajnego systemu wentylacji lub systemu chłodzenia powietrza w rejonie albo na stanowiskach pracy. Efektem tego jest właściwy dobór systemów przewietrzania powietrza, dobór właściwych urządzeń chłodniczych oraz czujników monitorujących temperaturę i prędkość przepływu powietrza.

Przedstawione w artykule badania dotyczą prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych podziemnych kopalń za pomocą różnych metod analitycznych. Od 1919 r. w Republice Południowej Afryki rozpoczęto badania nad termodynamicznymi prawami przepływu powietrza w kopalni podziemnym. W swoim artykule Jappe [4] przedstawił wyniki modelowania temperatury powietrza w wyrobisku górniczym, natomiast Starfield [5] zastosował metodę różnic skończonych do obliczenia temperatury powietrza wyrobisk podziemnych, a za pomocą modelu matematycznego sporządzono uproszczoną zależność do szybkiego prognozowania temperatury powietrza według termometru suchego i wilgotnego. Stokes i in. [6] prognozowali temperaturę, wilgotność powietrza i inne parametry klimatyczne za pomocą symulacji numerycznej. W swojej pracy Kertikov [7] stworzył model matematyczny temperatury i wilgotność powietrza w drążonym wyrobisku górniczym. Parametry powietrza w wyrobiskach korytarzowych był również prognozowane za pomocą oprogramowania CLIMSIM opracowanego w Uniwersytecie w Nottingham [8]. Model CLIMSIM został opracowany w celu symulacji warunków klimatycznych w wyrobiskach z opływowym prądem powietrza. W 2004 roku autorzy zmodyfikowali model matematyczny, aby prognozować warunki klimatyczne w wyrobiskach ślepych z wentylacja odrębną [9]. Opracowano model parametrów środowiskowych i klimatycznych w wyrobiskach kopalnianych, który zapisano w języku C++ [10]. W modelach prognozowania temperatury w wyrobiskach wykorzystuje się zasadę zachowania energii i konieczne jest uwzględnienie źródeł ciepła, takich jak autokompresja powietrza, maszyny i urządzenia górnicze oraz dopływ ciepła z górotworu itp.



Rys. 1. Uproszczony schemat sieci neuronowych
Fig. 1. Simplified diagram of neural networks



Rys. 2. Schemat przewietrzania rejonu ściany I-8-3A pokładu nr 8 w kopalni Vang Danh [15]
Fig. 2. Diagram of the ventilation of the I-8-3A longwall area of the No. 8 seam at the Vang Danh mine [15]

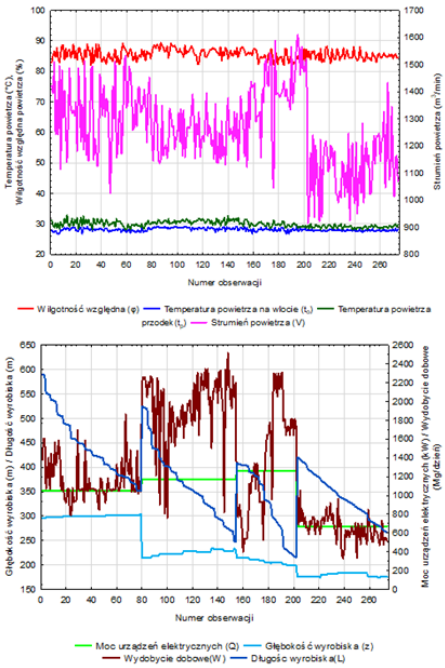
Do prognozowania temperatury powietrza wykorzystuje się metody empiryczne, takie jak metoda PTO (wg GIG), metoda opracowana przez J. Wacławika czy metody A.F. Voropaeva i J. Vossa. Ponieważ, metody empiryczne nie zawsze się sprawdzają, co wynika z wpływu wielu czynników naturalnych i technicznych i dlatego coraz częściej stosowaną metodą prognozowania zmian temperatury powietrza są sieci neuronowe, które pozwalają poznać charakter zmian temperatury i określić wagę różnych czynników mających wpływ na jej wartość i zmienność.

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych zostało zaproponowane po raz pierwszy przez McCulloch i Pitts w 1943 roku [11]. Sztuczne sieci neuronowe są alternatywnymi technikami obliczeniowymi wykorzystywanymi w wielu dziedzinach do predykcji oraz klasyfikacji dużych zbiorów danych, ich analizy lub optymalizacji. W ostatnich latach metody sztucznej inteligencji stały się bardzo popularne [12]. Ta technika jest często stosowana do przewidywania temperatury powietrza w kopalniach podziemnych. Sztuczną sieć neuronową (ANN – Artificial Neural Network) opartą na nieliniowym algorytmie autoregresji szeregów czasowych z wejściem zewnętrznym (NARX – Nonlinear Autoregressive Exogenous) zastosowano jako nowatorską metodę prognozowania temperatury w szybach wydobywczych i wentylacyjnych. Procedura przetwarzania informacji, budowa i zasada działania ANN wzorowane są na funkcjonowaniu połączeń układu nerwowego człowieka. Na podstawie dostarczonych zbiorów danych wyznaczane są wagi poszczególnych czynników niezależnych. Znając wagi i sygnały wejściowe (wyniki pomiarów – dane empiryczne), można z pewnym prawdopodobieństwem wyznaczyć sygnał/sygnały wyjściowe. W pracy Roghanchi i Kocsis [13] przedstawiono model ANN oparty na algorytmie NARX służący do prognozy temperatury powietrza na podszybiu.

Istnieje wiele rodzajów sieci neuronowych, różniących się strukturą, sposobem działania i stopniem zaawansowania. Sztuczne sieci neuronowe składają się z trzech rodzajów warstw: wejście, ukryte (pośrednie) i wyjście. Przepływ informacji w sieci zaczyna się w warstwie wejściowej, przechodzi przez warstwy pośrednie i kończy się wyjściową warstwą neuronową. Na rysunku 1 przedstawiono uproszczoną strukturę sieci neuronowej wielowarstwowej.

W zakresie podstawowej klasyfikacji możemy wyróżnić sieci z propagacją wsteczną (BPNN), sieci uogólnionej regresji (ang. Generalized Regression Neural Network – GRNN) oraz sieć radialnych funkcji bazowych (ang. Radial Basis Function Network – RBFN) [14]. Jednym z najbardziej popularnych modeli jest wielowarstwowy model perceptronu (MLP) z algorytmem ze wsteczną propagacją błędów. MLP network składa się z warstwy wejściowej, wyjściowej, a także przynajmniej jednej ukrytej warstwy neuronowej.

W artykule przedstawiono zintegrowane podejście do prognozowania temperatury w wyrobisku i opracowania modelu predykcyjnego z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Artykuł obejmuje analizę zależność korelacji między temperaturą powietrza na wylocie ze ścian a zmiennymi niezależnościami, takimi jak temperatura powietrza na wlocie do ściany (to), wilgotność względna powietrza (φ), strumień objętościowy powietrza (V), moc urządzeń elektrycznych pracujących w wyrobisku (Q), głębokość zalegania wyrobiska (z), wydobycie dobowe (W) i długość wyrobiska (L). Głównym celem analizy jest stworzenie dokładnych modeli ANN służących prognozowaniu temperatury powietrza dla ścian zmechanizowanych w warunkach wietnamskich kopalń podziemnych. Przedstawione modele ANN mogą służyć jako narzędzie dla służb kopalnianych w walce z zagrożeniem klimatycznym w wietnamskich kopalniach podziemnych.



Rys. 3. Wyniki pomiarów przyjetych do analizy (dla czterech kopalni uwzględnianych w badaniu): (a) temperatury powietrza na na wlocie i przodku, strumień powietrza; (b) moc urządzeń elektrycznych, głębokość zalegania oraz długość wyrobisk wykorzystane i wydobycie dobowe dla ścian zmechanizowanych

Fig. 3. Results of measurements accepted for analysis (for the four mines included in the study): (a) air temperatures at the inlet and face, air flow; (b) power of electrical equipment, depth and length of workings used and daily output for mechanized longwalls

2. Wyniki badań wybranych ścian zmechanizowanych w Wietnamie

Badania obejmowały pomiary eksperymentalne w czterech kopalniach w wybranych ścianach zmechanizowanych w Wietnamie. Do końca 2021 roku w większości podziemnych kopalń węgla kamiennego w Wietnamie zastosowano eksploatację zmechanizowaną. Wśród wybranych obiektów znalazły się: Kopalnia Ha Lam, Duong Huy, Vang Danh, Quang Hanh. W przytoczonych przykładach wyrobisk wietnamskich kopalń, ściany zmechanizowane były przewietrzane systemem na U. Strumień objętościowy przepływającego powietrza zmieniał się od 917 do 1609 m^3/min. Średnia głębokość zalegania wyrobisk badanych ścian (liczona od powierzchni terenu) zmieniała się w przedziale od 174,4 do 304,6 m. Natomiast dobowe wydobycie węgla z tych ścian wynosiło średnio od około 652 do 1954 Mg. Długość wyrobiska od wlotu chodnika transportowego do wylotu ze ściany wynosi średnio od 326 do 442 m. W kopalni Ha Lam Łączna moc urządzeń elektrycznych pracujących w ścianie zmechanizowanej I-11-16 kopalni Ha Lam wynosiła 1503 kW [15]. W Spółce Węglowej Duong Huy w ścianie TT-11-6 łączna moc urządzeń elektrycznych szacowana była na 1389,5 kW [16], podczas gdy dla ściany I-8-3A w kopalni Vang Danh wynosiła 1689 kW [17], a w kopalni Quang Hanh (ściana TT-7-10) 674 kW.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy schemat przewietrzania rejonu ściany zmechanizowanej I-8-3A w kopalni Vang Danh. Zaznaczono na nim kierunek przepływu powietrza wraz z punktami P1 i P2 miejsca wykonywania pomiarów parametrów powietrza.

W celu stworzenia modelu sztucznej sieci neuronowej do prognozowania temperatury powietrza na wylocie ze ścian, posłużono się danymi punktów pomiarowych P1 i P2 z wyrobisk eksploatacyjnych w czterech kopalniach: Vang Danh (ściana I-8-3A), Ha Lam (ściana 11-1-16), Duong Huy (ściana TT-11-6) i Quang Hanh (ściana TT-7-10). Przeprowadzone zostały pomiary wentylacyjne (analogicznie jak w kopalni Vang Danh w przedstawionych punktach P1 i P2) obejmujące pomiary prędkości powietrza, pole przekroju poprzecznego wyrobisk w celu obliczenia strumienia objętościowy powietrza (V), pomiary temperatury powietrza na wlocie to oraz na wylocie tp i pomiary wilgotności względnej powietrza (φ). W celu określenia danych wydobycia dobowego (W), mocy urządzeń elektrycznych (Q), głębokości zalegania wyrobisk (z) i długość wyrobisk (L) przeprowadzono analizę raportów kopalnianych dotyczących wydobycia dziennego, dokumentów technicznych urządzeń używanych oraz dokumentów geodezyjnych wyrobisk chodnikowych i ścianowych. Wykorzystane dane pochodzą z okresu pomiarów od maja 2018 roku do września 2020 roku. Wyniki pomiarów temperatury powietrza na wylocie ze ścian oraz parametry powietrza na wlocie, moc źródeł ciepła i głębokość zalegania wyrobisk dla wszystkich 198 obserwacji przedstawiono na rysunku 3.

3. Analiza korelacyjna parametrów

W artykule dokonano oceny wpływu czynników technicznych i parametrów powietrza na zmienność temperatury powietrza na wylocie ze ścian zmechanizowanych. Na podstawie zebranych danych, określono zależności pomiędzy temperaturą powietrza na wylocie, a zidentyfikowanymi parametrami technicznymi wyrobisk górniczych i parametrami termodynamicznymi powietrza. W tym celu przygotowano macierz korelacji (tabela 1), która przedstawia zależności zarówno pomiędzy parametrami wejściowymi jak i poszukiwaną wartością temperatury powietrza opuszczającego rejon ścianę wydobywczej.

Tab. 1. Macierz korelacji utworzona dla ścian zmechanizowanych

Tab. 1. Correlation matrix created for mechanized walls

	t_o	φ	V	Q	z	W	L	t_p
Temperatura wlotu t_o	1,000							
Wilgotność względna φ	0,245	1,000						
Strumień wentylacyjny V	0,002	-0,022	1,000					
Moc urządzeń Q	0,333	0,121	0,589	1,000				
Głębokość z	0,009	0,084	0,377	0,390	1,000			
Wydobycie W	0,364	0,208	0,285	0,695	0,151	1,000		
Długość L	0,047	0,224	0,012	0,073	0,546	-0,077	1,000	
Temperatura ściany t_p	0,585	-0,070	-0,052	0,487	0,319	0,463	0,200	1,000

Jak pokazała analiza korelacji, największy wpływ na temperaturę powietrza na wylocie ze ściany ma zmienna temperatury powietrza na wlocie (wartość współczynnika korelacji na poziomie 0,585). W przypadku zależności pomiędzy temperaturą na wylocie a mocą elektryczną urządzeń i wydobyciem dobowym, współczynniki korelacji są również wysokie i wynoszą odpowiednio 0,487 i 0,463. Najniższe współczynniki korelacji otrzymano dla wilgotności względnej powietrza i strumienia objętościowego przepływającego powietrza. Na kolejnym etapie przedstawiono zależności pomiędzy wartością oczekiwaną a zidentyfikowanymi parametrami niezależnymi. Wartości mocy urządzeń i głębokości zalegania wyrobisk, w przeciwieństwie do temperatury na wylocie zmieniają się w sposób skokowy, stąd też forma graficzna nie odzwierciedla zależności pomiędzy tymi parametrami. Na rysunku 4 przedstawiono zależności pomiędzy poszukiwaną wartością temperatury na wylocie, a pięcioma parametrami, których wartości zmieniają się w sposób ciągły. Wnioskowanie na podstawie prostych zależności nie pozwala na wyciągniecie wniosków co do charakteru zmian, dlatego w celu poznania mechanizmów zachodzących między tymi zmiennymi, zastosowano metodę sztucznych sieci neuronowych ANN.

4. Modelu ANN prognozy temperatury powietrza na wylocie ze ścian

W celu zweryfikowania dokładności przedstawionych modeli posłużono się czterema wskaźnikami dopasowania, tj.: współczynnik korelacji (r), średni błąd bezwzględny (ang. Mean Absolute Error – MAE), pierwiastek błędu średniokwadratowego (ang. Root Mean Squared Error – RMSE) i średni bezwzględny błąd procentowy (ang. Mean Absolute Percentage Error – MAPE) [18-21]. Wskaźniki obliczone zostały za pomocą poniższych równań (1-4):

$$r = \frac{\mathrm{cov}\left(E_A, E_P\right)}{\sigma_{E_A} \cdot \sigma_{E_P}} \tag{1}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|E_{A,i} - E_{P,i}\right| \tag{2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(E_{A,i} - E_{P,i}\right)^2} \tag{3}$$

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|E_{A,i} - E_{P,i}\right|}{E_{A,i}} \tag{4}$$

gdzie cov oznacza kowariancje, σ to odchylenie standardowe, n jest całkowitą liczbą obserwacji, E_A to wartość rzeczywista pomiaru, a E_P oznacza wartość przewidywaną.

W oparciu o zebrane dane, przygotowano modele sieci neuronowych wykorzystując pakiet Sieci neuronowe w programie STATISTICA [22]. Funkcję aktywacji i liczbę warstw ukrytych wybrano za pomocą testów statystycznych metodą najmniejszych kwadratów. W celu zbadano cztery wybrane funkcje aktywacji – liniową, styczną hiperboliczną, logistyczną i wykładniczą. Aby znaleźć optymalną liczbę ukrytych neuronów, w modelach wykorzystano różne liczby neuronów od 5 do 500 oraz przetestowano różne kombinacje funkcji aktywacji i liczby ukrytych neuronów. W pracy wykorzystano algorytm szkoleniowy BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno), w którym dane podzielone zostały na trzy grupy: próbki uczące (70%), testowe (15%) i walidacyjne (15%). Na podstawie współczynnika korelacji wybrano pięć modeli, które opisano w tabeli 2.

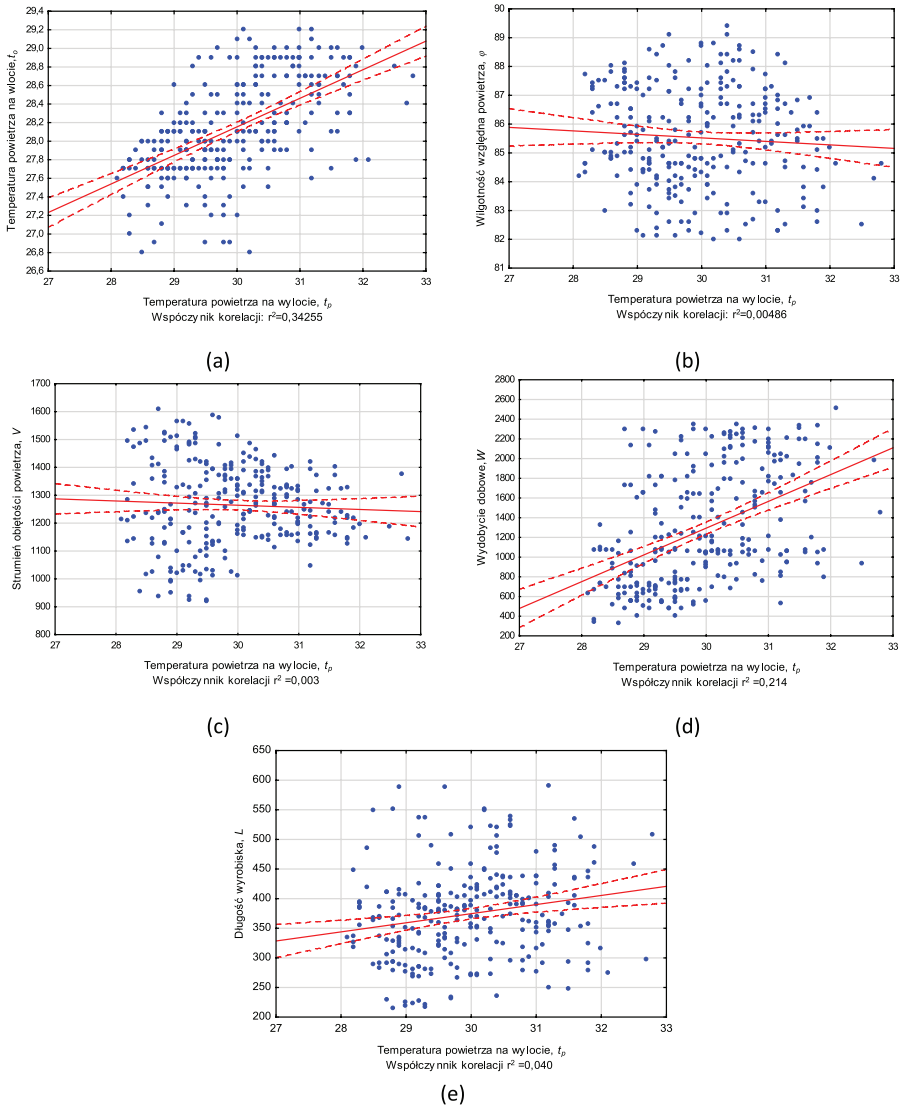
W celu określenia jakości dopasowania określono podstawowe współczynniki opisane w poprzednim rozdziale. Oszacowane wartości dla każdego z pięciu modeli przedstawiono w tabeli 3.

Dla każdego z analizowanych wyników najlepsze dopasowanie uzyskane zostało za pomocą modeli ANN-5 (MLP 7-247-1). Różnice pomiędzy zaproponowanymi modelami były małe, jednak z uwagi na najmniejsze wartości wszystkich wskaźników błędu oraz najwyższy współczynnik korelacji, uznano, że za pomocą tego modelu można uzyskać najbardziej dokładne wartości. Współczynnik dopasowania modelu ANN-5 wyniósł 0,917 przy średnim błędzie 0,31°C i średnim błędzie procentowym wynoszącym 1,03%. Na rysunku 5 przedstawiono porównanie pomiarów rzeczywistych i wyników uzyskanych na podstawie modelu ANN-5.

6. Weryfikacja prognozy temperatury powietrza na przykładzie ściany 11-1-17 w warunkach kopalni Ha Lam

W okresie od lutego 2020 do września 2020 przeprowadzono pomiary parametrów powietrza w rejonie ściany 11-1-17 w kopalni Ha Lam. Średnia długość ściany wynosiła 106,0 m, wysokość 2,6 m. Ściana przewietrzana była na system U. Na rysunku 6 przedstawiono schemat przewietrzania rejonu ściany 11-1-17 pokładu nr 11. Nachylenie podłużne ściany wynosiło 0–6°. Średnia głębokość eksploatacji ściany wynosi ok. 243 m. Charakteryzuje się ona wysoką koncentracją, ponieważ dobowe wydobycie wynosiło średnio ok. 2080 Mg/dobę. Eksploatacja była stosowana systemem ścianowym podbierkowym podłużnym z zawałem stropu w ścianie 11-1-17 w pokładzie nr 11. W tej ścianie zastosowano kompleksową technologię zmechanizowaną. Ścianę wyposażono w:

- kombajn ścianowy MG150/375-W,
- obudowę zmechanizowaną ZF4400/16/28,
- obudowę przejściową ZFG4800/18/28,
- przenośnik ścianowy SGZ630/264 (po i przed obudową).



Rys. 4. Analiza zależności temperatury powietrza na wylocie dla kopalni zmechanizowanych wobec parametrów: (a) temperatury powietrza na wlocie, (b) wilgotności względnej powietrza, (c) strumienia objętości powietrza, (d) wydobycia dobowego, (e) długości wyrobiska

Fig. 4. Analysis of the dependence of air temperature at the outlet for mechanized mines against the parameters: (a) air temperature at the inlet, (b) relative humidity, (c) air flow rate, (d) daily extraction, (e) length of the pit

Całkowita moc elektryczna urządzeń wynosi 903 kW. Dodatkowo w chodniku transportowym pracował przenośnik taśmowy typu DSJ100/80/110, przenośnik typu SZZ630/110, kruszarka urobku typu PLM800 i inne urządzenia elektryczne o całkowitej mocy 273 kW.

Wyniki prognozy temperatury powietrza na wylocie ze ściany na podstawie modeli sztucznej sieci neuronowej przedstawiono na rysunku 7.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że otrzymane wyniki prognozy temperatury powietrza na wylocie ze ściany z zadowalającą dokładnością odzwierciedlają rzeczywiste wyniki uzyskane z pomiarów in situ. Średnia odchyłka wynosi 0,80°C (2,66%) natomiast największa odchyłka jest równa 1,51°C (5,10%). Przedstawiony model ANN będzie uczony na podstawie nowych (dodatkowych) danych w procesie prognozowania temperatury powietrza na wylocie ze ścian wydobywczych dla istniejących obszarów w wietnamskich kopalniach, co pozwoli na jego udoskonalenie w przyszłości.

6. Podsumowanie

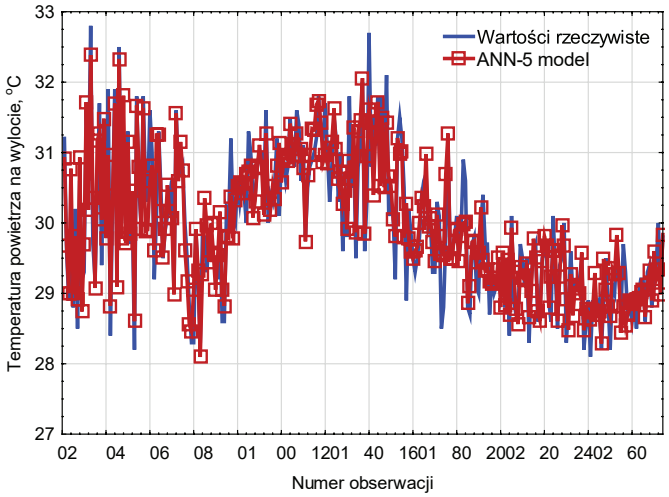
Prognozowanie temperatury powietrza w ścianach eksploatacyjnych jest kluczowe dla zapewnienia odpowiednich warunków na stanowiskach pracy w kopalniach podziemnych, doboru strumienia powietrza, systemu wentylacji oraz ewentualnie sposobu chłodzenia powietrza. Mając na uwadze jak wiele czynników naturalnych i technicznych wpływa na zmiany temperatury oraz że nie zawsze metody empiryczne sprawdzają się w prognozowaniu, zaproponowano metodę sztucznych sieci neuronowych ANN. Metoda ta pozwala na rozpoznanie wzorca zmian temperatury powietrza w ścianowych wyrobiskach. Dlatego na przykładzie ANN, można uzyskać wysoką dokładność modelowania zmian temperatury oraz prognozowania, co ma kluczowe znaczenia dla oceny warunków klimatycznych w podziemnych wyrobiskach.

W zastosowanym modelu wykorzystano kilka zmiennych oraz ograniczaną ilość pomiarów osiągając wymaganą zmienność i dokładność wyników. Pozwala to na stwierdzenie, że zwiększenie ilości danych i włączenie do analizy innych

Tab. 2. Wybrane konfiguracje modeli

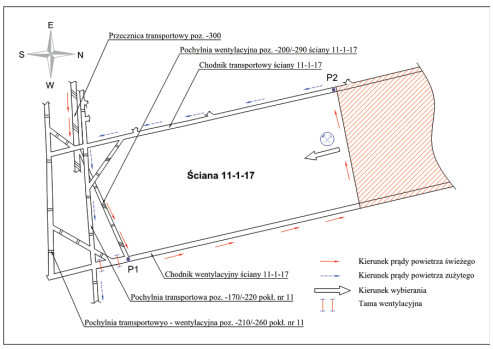
Tab. 2. Selected model configurations

Numer modelu	Nazwa sieci	Funkcja aktywacyjna warstwy ukrytej	Liczba neuronów ukrytych	Funkcja aktywacyjna warstwy wyjściowej
ANN-1	MLP 7-195-1	Wykładnicza	195	Logistyczna
ANN-2	MLP 7-144-1	Wykładnicza	144	Tanh
ANN-3	MLP 7-203-1	Logistyczna	203	Liniowa
ANN-4	MLP 7-123-1	Tanh	123	Tanh
ANN-5	MLP 7-247-1	Tanh	247	Liniowa



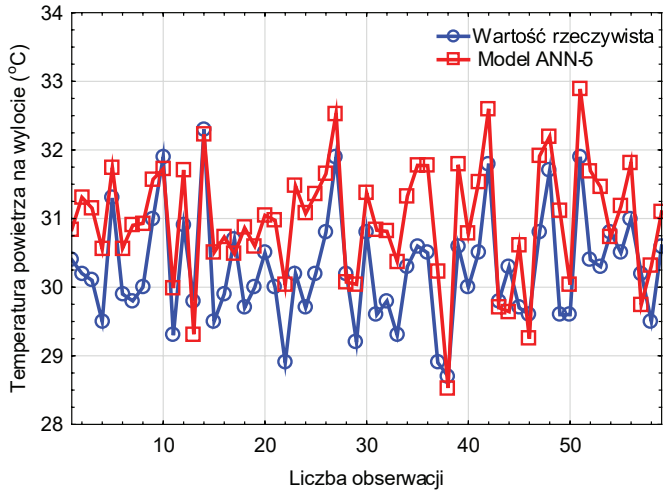
Rys. 5. Porównanie pomiarów rzeczywistych i wyników uzyskanych przy wykorzystaniu modelu ANN-5

Fig. 5. Comparison of actual measurements and results obtained using the ANN-5 model



Rys. 6. Schemat przewietrzania rejonu ściany 11-1-17 w kopalni Ha Lam [15]

Fig. 6. Ventilation scheme for the area of longwall 11-1-17 in Ha Lam mine [15]



Rys. 7. Rozkład temperatury powietrza na wylocie ze ściany 11-1-17 w kopalni Ha Lam na podstawie pomiarów i na podstawie wyników modelu prognozowania

Fig. 7. Distribution of air temperature at the outlet of longwall 11-1-17 in Ha Lam mine based on measurements and on the results of the forecasting model

Tab. 3. Wskaźniki dokładności przygotowanych modeli

Tab. 3. Accuracy rates of prepared models

Numer modelu	r	MAE	RMSE	MAPE
ANN-1	0,908	0,325	0,417	1,08%
ANN-2	0,906	0,327	0,421	1,09%
ANN-3	0,908	0,324	0,418	1,08%
ANN-4	0,909	0,316	0,415	1,05%
ANN-5	0,917	0,310	0,398	1,03%

czynników umożliwi uzyskanie większej dokładności prognozowania temperatury powietrza w wyrobiskach. Metoda prognozowania jest niezwykle cenna, gdyż pozwala na wskazanie, który z czynników ma istotne wpływa na temperaturę powietrza, a to pozwala na przeciwdziałanie zagrożeniom klimatycznym.

Na podstawie czterech wskaźników: współczynnik korelacji, średni błąd bezwzględny, pierwiastek błędu średniokwadratowego i średni bezwzględny błąd procentowy wybrano pięć modeli. Model ANN-5 (MLP 7-247-1) został wybrany jako najbardziej odpowiedni i skuteczny. Wykorzystując otrzymany model ANN-5 wykonano prognozę temperatury powietrza na wylocie ze ściany zmechanizowanej 11-1-17 w kopani Ha Lam. Wyniki prognozy temperatury powietrza na wylocie ze ścian uzyskały zadowalającą dokładność z średnią odchyłką 2,66%. Prognozowanie z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej daje możliwość dostosowywania metody prognozy do coraz to nowych warunków górniczych. Jednocześnie jest ono podstawą do opracowania pełniejszych metod kontrolowania temperatury powietrza w warunkach kopalń podziemnych w Wietnamie.

Literatura – References

1. Q. Truong Tien, R. Łuczak, i P. Życzkowski, „Climatic hazard assessment in selected underground hard coal mines in Vietnam", Inż. Miner., nr 2, s. 155–163, 2019, doi: http://doi.org/10.29227/IM-2019-02-67.
2. Ministry of Industry and Trade of Vietnam, „National technical regulation on safety in underground coal mining QCVN 01: 2011 / BCT (Issued together with Circular No. 03/2011 / TT-BCT of February 15, 2011) of the Minister of Industry and Trade). Bộ Công thương Việt Nam: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò QCVN 01:2011/BCT (Ban hành kèm theo thông tư số 03/2011/TT-BCT ngày 15 tháng 02 năm 2011 của Bộ trưởng Bộ Công thương)". 2011.
3. M. Borowski, Q. Truong Tien, R. Łuczak, i P. Życzkowski, „Selection and calculation of air cooling solutions in underground coal mines in Vietnam", Inż. Miner., t. no. 2, 2, s. 237–244, 2020, doi: http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-68.
4. C. W. Biccard Jeppe, „The estimation of ventilation air temperatures in deep mines", J. Chem. Metall. Min. Soc. South Afr., t. 40, nr 1, 1939.
5. A. M. Starfield, „A Rapid Method of Calculating Temperature increases along Mine Airwayst", J. SOUTH Afr. Inst. Min. Metall., s. 7.
6. M. Stokes, A. J. Ross, M. A. Tuck, i I. S. Lowndes, „Computer Simulation of Climatic Conditions in Rapid Development Drivages", Proc. 6th Int. Mine Vent. Congr. SME Littleton CO, s. 283–288, 1997.
7. V. Kertikov, „Air temperature and humidity in dead-end headings with auxiliary ventilation", Proc. 6th Int. Mine Vent. Congr. SMME Littleton CO USA, s. 269–276, 1997.
8. K. L. Gibson, „The computer simulation of climatic conditions in underground mines.", Ph.D., University of Nottingham, 1976. Dostęp: luty 26, 2021. [Online]. Dostępne na: https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.456575
9. I. S. Lowndes, A. J. Crossley, i Z.-Y. Yang, „The ventilation and climate modelling of rapid development tunnel drivages", Tunn. Undergr. Space Technol., t. 19, nr 2, s. 139–150, mar. 2004, doi: 10.1016/j.tust.2003.09.003.
10. W. Lyu, S. Cai, P. Yang, i Y. Zhang, „Underground environment parameter prediction in a deep mine", 2017, s. 949–960. doi: DOI: 10.36487/ACG_rep/1704_65_Lyu.
11. W. S. McCulloch i W. Pitts, „A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", s. 19.

12. M. Borowski i K. Zwolińska, „Prediction of Cooling Energy Consumption Using a Neural Network on the Example of the Hotel Building", Proceedings, t. 58, nr 1, s. 21, wrz. 2020, doi: 10.3390/WEF-06917.

13. P. Roghanchi i K. C. Kocsis, „Quantifying the thermal damping effect in underground vertical shafts using the non-linear autoregressive with external input (NARX) algorithm", Int. J. Min. Sci. Technol., t. 29, nr 2, s. 255–262, mar. 2019, doi: 10.1016/j.ijmst.2018.06.002.

14. S. Kalogirou, Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems. New York, NY, USA,: Nova Science Publishers, 2007.

15. Vinacomin-Ha Lam Joint Stock Company, „Explanatory statement about exploiting the longwall of CGH 11-1-16 in the coal seam 11 in the Ha Lam mine, Quang Ninh. (Công ty than Hà Lầm, Thuyết minh khai thác lò chợ CGH 11-1-16 vỉa 11, Quảng Ninh)." Document is not public, 2018.

16. Mining Safety Center -Institute of Mining Science and Technology - Vinacomin, „Investigation of air composition parameters in the longwall TT-11-6 in the coal seam 11 in the central part of the Duong Huy mine, Quang Ninh (Khảo sát các thông số của thành phần không khí tại khu vực lò chợ TT-11-6, vỉa 11, khu Trung Tâm, mỏ than Dương Huy, Quảng Ninh)". Document is not public, 2020.

17. Mining Safety Center -Institute of Mining Science and Technology - Vinacomin, „Investigation of air temperature in the longwall I-8-3A in the area Gieng Vang Danh, Vang Danh mine, QuangNinh. (Khảo sát thành phần không khí khu vực lò chợ I-8-3A - Phần lò Giếng, Mỏ than Vàng Danh, Quảng Ninh)". Document is not public, 2019.

18. D. Zhao, M. Zhong, X. Zhang, i X. Su, „Energy consumption predicting model of VRV (Variable refrigerant volume) system in office buildings based on data mining", Energy, t. 102, s. 660–668, maj 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.02.134.

19. P. Lara-Benítez, M. Carranza-García, J. M. Luna-Romera, i J. C. Riquelme, „Temporal Convolutional Networks Applied to Energy-related Time Series Forecasting", MATHEMATICS & COMPUTER SCIENCE, preprint, mar. 2020. doi: 10.20944/preprints202003.0096.v1.

20. T. Liu, Z. Tan, C. Xu, H. Chen, i Z. Li, „Study on deep reinforcement learning techniques for building energy consumption forecasting", Energy Build., t. 208, s. 109675, luty 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109675.

21. Ö. A. Dombaycı, „The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli–Turkey", Adv. Eng. Softw., t. 41, nr 2, s. 141–147, luty 2010, doi: 10.1016/j.advengsoft.2009.09.012.

22. „Statsoft", https://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html.

Application of ANN Artificial Neural Networks to Predict Air Temperature in Longwall Workings of Vietnamese Anthracite Mines

To meet Vietnam's growing energy demand, mines are increasing coal extraction, which results in growing depth of exploitation and establishing new mining levels at greater depths. An increase in the intensity and efficiency of mining can be achieved through efficient longwall complexes with high electrical power of machines and devices. Climatic conditions in Vietnam, geological conditions of coal seams, exploitation depth, use of machines with higher electrical power, and mechanization of mining work contribute to the increase in air temperature in underground mine workings. To ensure the required working conditions for miners, the efficiency of mine workings ventilation should be increased. Unfortunately, this is not always sufficient to ensure the required conditions, and it is necessary to use air cooling systems using air conditioning systems. Changes in air temperature in mining excavations are influenced by many natural, technical, and organizational factors, which are difficult to capture using analytical methods. Therefore, a method based on the ANN artificial neural network model was proposed for temperature forecasting, which enables forecasting the air temperature in mechanized and non-mechanized longwall workings. The air temperature forecast results were compared with measurement data. The analyses show that the actual and forecast data correspond with each other. Therefore, the presented method can be used as a tool for mining services in the fight against the climate threat in underground mines.

Keywords: *anthracite mines, mechanized mining systems, climatic conditions, temperature forecasting, artificial neural networks (ANNs)*

Bioaccumulation and Bioleaching of Cu, Pb, and Zn from Mining Waste

Patrik ČERMÁK[1], Slavomír ČERŇANSKÝ[2]

[1] Mgr. Patrik Čermák, Comenius University in Bratislava, Faculty of Natural Sciences, Department of Geochemistry, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava; email: cermak25@uniba.sk
[2] Mgr. Slavomír Čerňanský, PhD., Comenius University in Bratislava, Faculty of Natural Sciences, Department of Environmental Ecology, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-61

Submission date: 01-11-2023 | Review date: 23-11-2023

Abstract

The subject of this study was to determine the effectiveness of Aspergillus niger (Pezinok) and Neosartorya fischeri strains in bioleaching and bioaccumulation of metals from mining waste from the Hodruša tailings pond. The waste used in the work contained 0.10 mm fractions weighing 1 and 2 g from different depths of the soil matrix, samples A: 10–20 cm, samples B: 20–30 cm. We focused on the elements copper, lead and zinc with the content of individual elements (mg/kg) copper – in samples A 487 mg/kg, in samples B 115 mg/kg. Lead – samples A 1208 mg/kg, samples B 582 mg/kg. Zinc – samples A 6970 mg/kg, samples B 6808 mg/kg. We confirmed the effectiveness of the Aspergillus niger strain in this process due to the production of organic acids (citric acid, oxalic acid, acetic acid). In the experimental part, we found that the most effective strain in determining the efficiency of extraction and concentration of metals in the solution after bioleaching was the Aspergillus niger strain. The Neosartorya fischeri strain appears to be most effective in accumulating metals in solution and accumulating metals in biomass. We can justify this phenomenon due to the different properties of the cell walls of individual fungal strains and it is necessary to keep these differences in mind when comparing biosorption properties.

Keywords: *Aspergillus niger, Neosartorya fischeri, bioleaching, bioaccumulation, copper, lead, zinc*

Introduction

The purpose of the study was experimental quantification of bioleaching of Cu, Zn and Pb using microorganisms from solid substrates of mining waste. Sub-objectives including evaluation of extraction efficiency of selected elements, quantification of their bioaccumulation and monitoring of these processes using an autochthonous microbiota enriched with Aspergillus niger and Neosartorya fischeri strains while increasing the efficiency of leaching processes. Monitoring and comparison of the influence of cultivation length and the amount of material used in the bioleaching process. The experiments are performed on native samples of flotation sludge taken on the model subpage Hodruša – Hámre with the studied sludge pond (304 m. a. s. l.), which are located in the part of Dolné Hámre (Masarovičová et al. 2000). It is a permanent repository of flotation sludge generated during mining activities.

Methods

The collection of the examined material took place in the locality of Hodruša – sludge pond, in the region of Banská Štiavnica. A line profile was chosen for sampling in the length range of 20 meters between the individual sampling points. The samples were marked HO–1 to HO–8 (HO – Hodruša), while HO – 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a represented the collected substrate in the depth range from the surface of 10 to 20 cm. Samples marked HO – 1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6b, 7b, 8b were taken in the depth range of 20 to 30 cm (in both cases they were mixed samples). The top contaminated layer formed by plastic clay was also taken from the samples. Sampling points are recorded on the created map (Google Earth map base, Fig. 1), which is supplemented by Table 1 indicating the individual coordinates of the sampling points.

The removed substrate from the sludge was allowed to dry at room temperature (20–22°C). The substrate was homogenized after drying by stirring and sieving through a sieve (0.10 mm fraction), and the obtained material was subsequently analyzed by F-AAS and HG-AAS methods. The solid samples (biomass and substrate along with filter paper) were decomposed with acids (H_2SO_4, HNO_3 and HCl) at high pressure under microwave irradiation to form a solution in which the elements were analyzed. The results of the analysis determined the composition of the substrate to the content of the elements monitored by us (mg/kg) recorded in Table 2.

Preparation of cultures of microscopis fungi

We prepared slant agar with Sabouraud medium (SAB) containing 20 g of glucose and 10 g of peptone pH 5.6 from Himedia (India) for culturing filamentous fungi and yeasts. We followed the standard procedure in the preparation of cultures. After solidification, the individual tubes were inoculated with A. niger and N. fischeri strains, which we cultured for 14 days in a dark environment at 4°C. We created two sets of flasks into which we weighed 1 g and 2 g of substrate from both samples for three replicates from each. We poured 50 ml of liquid nutrient medium into the samples. The first set was cultured for 20 days and the second for 40 days.

To calculate the extraction efficiency of individual elements (Pb, Cu, Zn) from samples of solid substrates, we used the formula according to the study of Yang et al. (2008) used in the calculation of leaching of As and Sb.

$$\textbf{metal extraction efficiency (\%)} = \frac{C_L \times V_L}{C_S \times M_S} \times 100$$

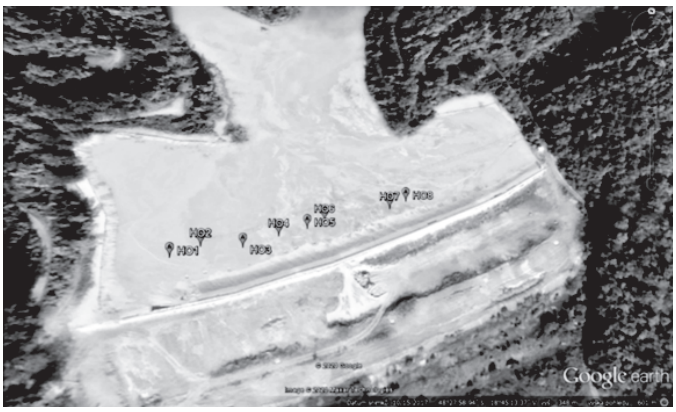


Fig. 1. Aerial view of the site where the sampling points are marked (Google Earth map background)
Rys. 1. Widok z lotu ptaka miejsca, w którym zaznaczono punkty poboru próbek (tło mapy Google Earth)

Tab. 1 Designation of the samples and the coordinates of the specific sampling point
Tab. 1. Oznaczenie próbek i współrzędne konkretnego punktu pobierania próbek

Sample marking	GPS coordination of the collection points
HO1	N48°27.959´ E018°45.149´
HO2	N48°27.964´ E018°45.161´
HO3	N48°27.966´ E018°45.179´
HO4	N48°27.970´ E018°45.195´
HO5	N48°27.973´ E018°45.208´
HO6	N48°27.976´ E018°45.216´
HO7	N48°27.980´ E018°45.247´
HO8	N48°27.983´ E018°45.255´

Tab. 2. Total content of monitored elements in individual samples
Tab. 2. Całkowita zawartość monitorowanych pierwiastków w poszczególnych próbkach

Element contents (mg/kg)	Sample A	Sample B	Measurement uncertainty
Cu	487	115	3%
Pb	1208	528	3%
Zn	6970	6808	2%

CL is the concentration of metals in the solution after leaching (mg/l), VL is the volume of the solution after leaching (l), CS is the concentration of metals in the substrate before leaching (mg/g) and MS is the amount of substrate added (g) (Yang, 2008). In the analysis of samples, we used the Student's test to determine the value of the statistical difference. The differences between the variability of the parameter of the control sample and the experiment were able to divide the results into 4 levels of significance. For this purpose, we created 24 sets, with three repetitions in each set. The results obtained represent the average of the three replicates we performed for each set. We changed the following parameters in the kits: weight of 1 or 2 g, substrate A or B, Aspergillus niger or Neosartorya fischeri strain used, cultivation time 20 or 40 days. We observed differences in the concentrations of individual metals after leaching into solution.

Used strains for bioleaching

Aspergillus niger Pezinok – isolated from stream sediment in the mining area in Pezinok (contamination with As, Sb and other elements, As 363 mg/kg; Sb 93 mg/kg; Fe 82.8 mg/kg), pH (H_2O) = 5.30.

Neosartorya fischeri Pezinok – strain isolated from the locality Pezinok – tailings pond (contamination with As, Sb and other elements) pH (H_2O) = 6.79.

Results and discussion

For samples focusing on zinc leaching, we evaluated A. niger for substrate B (zinc content in substrate: 6808 mg/kg) with a culture time of 20 days at a weight of 2 g (22.53 mg/l) as the most effective strain. Although the proportion of zinc in this sample was slightly lower, the concentration of zinc in the solution after leaching was higher (sample A contained: 6970 mg/kg zinc). We can substantiate this statement with the production of acids by the A. niger strain. We can substantiate this statement thanks to several works. Golab and Orlowska (1988) in their publication on the effectiveness of organic acids produced by the A. niger strain in these processes. This strain is one of the most efficient accumulators of heavy metals (Ren et al. 2009). The leaching of these metals is ensured by means of acids, especially citric, gluconic, oxalic or tartaric acid. In a set of samples in which we determined the concentration of metals in the solution after leaching (mg/l), according to a study by Hendrich et al. (2016), the duration of the bioleaching process should be one of the essential factors that limit the amount of leached elements from the substrate. According to their study, a longer duration of bioleaching should ensure higher values of the yield of elements from the substrate. However, we did not confirm their claim in our experiments. Some of our samples showed specific behavior, in which we observed that a shorter leaching time (20 days) was more effective: Copper – in the HO–A sample 1g for the A. niger strain as well as for the autochthonous microflora. For the HO–A sample 2g as well. For sample HO–B 2g for indigenous microflora. Lead – for sample HO–A 1g for autochthonous microflora, for sample HO–A 2g for strain A. niger, for sample HO–B 1g for strain A. niger as well as for autochthonous microflora and in sample HO–B

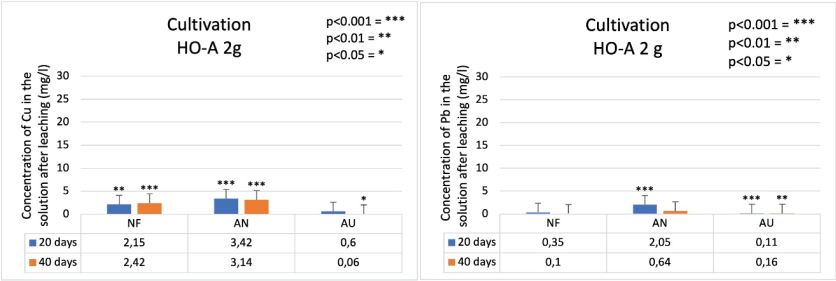


Fig. 2. Concentration of Cu and Pb in the solution after leaching (mg / l) in the sample HO–A 2g
Rys. 2. Stężenie Cu i Pb w roztworze po ługowaniu (mg/l) w próbce HO-A 2g

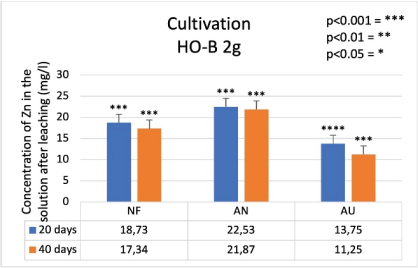


Fig. 3. concentration in the solution after leaching (mg / l) in the sample HO–B 2g
Rys. 3. stężenie w roztworze po ługowaniu (mg/l) w próbce HO-B 2g

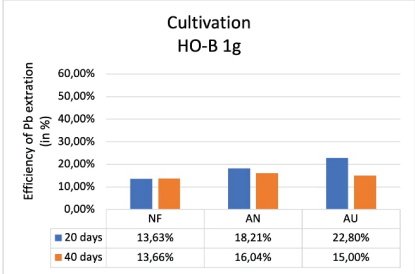


Fig. 4. Pb extraction efficiency (in%) in sample HO–B 1g
Rys. 4. Wydajność ekstrakcji Pb (w%) w próbce HO-B 1g

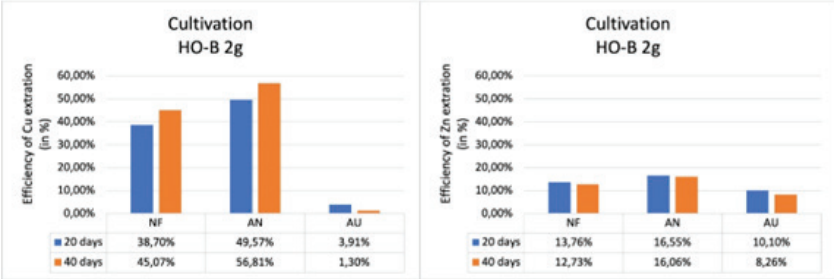


Fig. 5. Extraction efficiency of Cu and Zn (in%) in the sample HO–B 2g
Rys. 5. Wydajność ekstrakcji Cu i Zn (w%) w próbce HO-B 2g

2g for strain A niger. Zinc – for sample HO–A 2g for N. fischeri strain and autochthonous microflora and sample HO–B 2g for all strains. We can justify the behavior by a study by Boriová et al. (2014), which points to a process taking place over a longer period of bioleaching. Conversely, this process may reduce the concentration of leached elements due to immobilization in biomass or precipitation of metals. This immobilization at high concentrations of elements in biomass is one of the properties of microscopic fungi in the process of bioaccumulation and biosorption. Higher leached contents and accumulations, in case of higher batch weight, can lead to better bioavailability of fractions for fungi (if growth elements such as copper and zinc are needed). In the case of lead, on the other hand, this can lead to increased toxicity, which reduces the accumulation and leaching process.

When accumulating metals into the solution, we observed the same trend in almost all samples. The most effective strain was N. fischeri. Differences occurred in only two cases. For lead in the HO–A 1g sample, the A. niger strain was more effective in both culture time horizons, and for zinc in the HO–B 1g sample, after 40 days of cultivation, the A. niger strain. The studies of Dursun et al. (2003) demonstrate the effectiveness of the A. niger strain in the heavy metal biosorption process. We have proved the same conclusions in our work. Heavy metals such as copper cause inhibition of this strain, allowing a high yield of copper accumulation. The properties of the cell walls and their differences between the individual fungal strains, in our case A. niger and N. fischeri, naturally lead to different biosorbent behavior in our experiment. These differences should be borne in mind when comparing the biosorption properties of the two strains (Littera et al., 2011). At the end of the experiment, we can state that the A. niger strain was the most effective in the extraction efficiency and concentration of metals in solution. The highest value in the extraction efficiency for copper was recorded in the sample HO–B 2g with the value 56,81% after 40 days of cultivation. For zinc, it was a HO–B 2g sample with a value of 16.55% after 20 days of culture. Lead had the most effective autochthonous microflora in the HO–B sample of 1 g after 20 days of culture with a value of 22.80%. When determining the concentration of metals in the solution after leaching, we recorded the highest value for copper (3.42 mg/l) in the sample HO–A 2g after 20 days of cultivation. For lead, we measured the highest value (2.05 mg/l) in the HO–A sample of 2 g after 20 days of culture. For zinc, we recorded the highest value (22.53 mg/l) in the sample HO–B 2g after 20 days of cultivation.

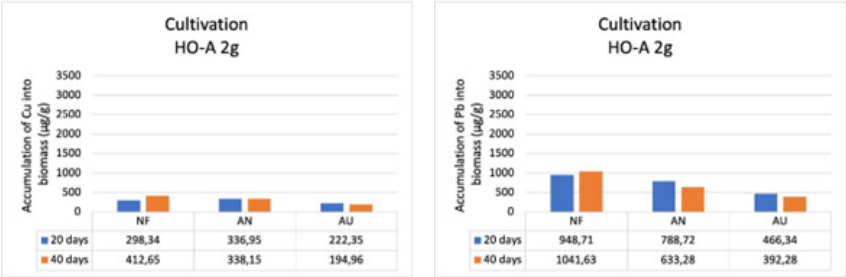


Fig. 6. Accumulation of Cu and Pb into biomass (µg / g) in the sample HO–A 2g
Rys. 6. Akumulacja Cu i Pb w biomasie (µg / g) w próbce HO-A 2g

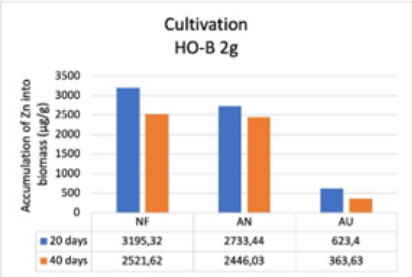


Fig. 7. Accumulation of Zn into biomass (µg / g) in the sample HO–B 2g
Rys. 7. Akumulacja Zn w biomasie (µg / g) w próbce HO-B 2g

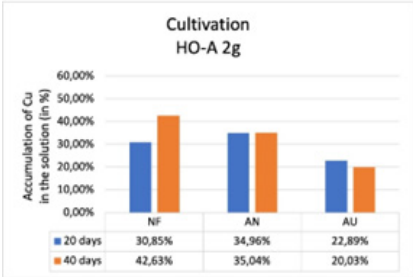


Fig. 8. Accumulation in Cu solution in% in sample HO–A 2g
Rys. 8. Akumulacja w roztworze Cu w% w próbce HO-A 2g

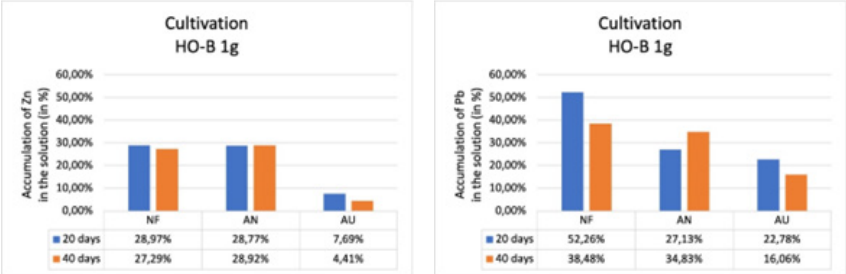


Fig. 9. Accumulation of a solution of Pb and Zn in% in a sample HO–B 1g
Rys. 9. Akumulacja roztworu Pb i Zn w% w próbce HO-B 1g

Conclusions

Based on our results, we can state that the highest concentration of metals found in the solution after leaching was achieved in a shorter time horizon of cultivation. On the contrary, a longer time reduced this value. When processing the results, we used the Student's test to determine statistical significance. In all three cases (Cu, Pb, Zn) it was a very high significance for the highest measured values.

We can justify the efficiency of the A. niger strain by its ability to produce citric, glucanic or tartaric acids. Tartaric acid is essential in the process of bioleaching zinc, because it is classified as a chelating agent. The formation of given acids significantly contributed to the efficiency of copper leaching, which we managed to prove experimentally in our work with the help of microorganisms in the process of conversion of contaminants, which led to partial or complete mineralization of the pollutant.

Literatura – References

1. BORIOVÁ, K. – ČERŇANSKÝ, S. – MATÚŠ, P.– BUJDOŠ, M. – ŠIMONOVIČOVÁ, A.:Bioaccumulation and biovolatilization of various elements using filamentos fungus Scopulariopsis brevicaulis. Letter in Applied Microbiology 59(2), 2014, 217–223.
2. DURSUN, A. Y. – USLU, G. – CUCI, Y. – AKSU, Z.: Bioaccumulation of copper(II), lead(II) and chromium(VI) by growing Aspergillus niger. Process Biochemistry, 38(12), 2003, 1647–1651.
3. GOLAB, Z. – ORLOWSKA, B.: The effect of amino and organic acids produced by the selected microorganisms on metal leaching. Acta Microbiologica Polonica, 37, 1988, 83–93.
4. HEDRICH, S. – GUÉZENNEC, A.-G. – CHARRON, M. – SCHIPPERS, A. – JOULIAN, C.: Quantitative Monitoring of Microbial Species during Bioleaching of a Copper Concentrate. Frontiers in Microbiology 7: 2044, 2016, 1–11.
5. LITTERA, P. – URÍK, M. – ŠEVC, J. – KOLENČÍK, M. – GARDOŠOVÁ, K. – MOLNÁROVÁ, M.: Removal of arsenic from aqueous environments by native and chemically modified biomass of Aspergillus niger and Neosartorya fischeri. Environmental Technology, 32(11), 2011, 1215–1222.
6. MASAROVIČOVÁ, M. – SLÁVIK, I. – JESENÁK, J.: Geotechnické posúdenie odkaliska Slovenská Banská s.r.o. Hondruša Hámre. STU Bratislava 2000.
7. REN, W.-X. – LI, P.-J. – GENG, Y. – LI, X.-J.: Biological leaching of heavy metals from a contaminated soil by Aspergillus niger. Journal of Hazardous Materials, 167(1-3), 2009, 164–169.
8. YANG, J. – WANG, Q. – WU, T.: Comparisons of one-step and two-step bioleaching for heavy metals removed from municipal solid waste incineration fly ash. Environmental Engineering Science, 25(5), 2008, 783-789.

Bioakumulacja i bioługowanie Cu, Pb i Zn z odpadów górniczych

Przedmiotem niniejszego badania było określenie skuteczności szczepów Aspergillus niger (Pezinok) i Neosartorya fischeri w bioługowaniu i bioakumulacji metali z odpadów górniczych ze stawu osadowego Hodruša. Odpady wykorzystane w pracy zawierały frakcje 0,10 mm o masie 1 i 2 g z różnych głębokości matrycy glebowej, próbki A: 10–20 cm, próbki B: 20–30 cm. Skupiliśmy się na pierwiastkach miedzi, ołowiu i cynku z zawartością poszczególnych pierwiastków (mg/kg) miedź – w próbkach A 487 mg/kg, w próbkach B 115 mg/kg. Ołów – próbki A 1208 mg/kg, próbki B 582 mg/kg. Cynk – próbki A 6970 mg/kg, próbki B 6808 mg/kg. Potwierdziliśmy skuteczność szczepu Aspergillus niger w tym procesie ze względu na produkcję kwasów organicznych (kwas cytrynowy, kwas szczawiowy, kwas octowy). W części eksperymentalnej stwierdziliśmy, że najskuteczniejszym szczepem w określaniu wydajności ekstrakcji i stężenia metali w roztworze po bioługowaniu był szczep Aspergillus niger. Szczep Neosartorya fischeri wydaje się być najbardziej efektywny w akumulacji metali w roztworze i akumulacji metali w biomasie. Zjawisko to można uzasadnić różnymi właściwościami ścian komórkowych poszczególnych szczepów grzybów i należy pamiętać o tych różnicach przy porównywaniu właściwości biosorpcyjnych.

Słowa kluczowe: *Aspergillus niger, Neosartorya fischeri, bioługowanie, bioakumulacja, miedź, ołów, cynk*

Research on Creating Spatial Analysis Models for Developing COVID-19 Vulnerability Index Map in Hanoi City

Thi Thu NGUYEN[1)], Minh Quang NGUYEN[1)], Long Quoc NGUYEN[1)], Tomasz LIPECKI[2)]*

[1)] Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam
[2)] Faculty of Geo-Data Science, Geodesy and Environmental Engineering, AGH University of Krakow, Poland
* Corresponding author: nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-62

Submission date: 20-11-2023 | Review date: 30-11-2023

Abstract

The COVID-19 epidemic is gradually being pushed back in Vietnam as well as around the world, but the emergence of different variants of the SARS COVI 2 virus remain a risk that could lead to a resurgence of the disease. Therefore, preparing sopportive information for epidemic prevention, especially disease risk maps based on spatial data, is essential to ensure that Vietnam can live safely with the SARS COVI virus 2. This paper presents a method for creating a COVID-19 sensitive map of Hanoi city using the QGIS technology. From there, areas at high risk of rapid infection when there are initial cases in the community and regions at high risk of outbreak can be identified in this map. This information helps the government plan to prioritize early vaccine coverage as well as propose reasonable epidemic prevention measures.

Keywords: *COVID, CVI map, QGIS, Hanoi*

1. Introduction

The world is currently facing a special health problem due to the outbreak of a new coronavirus disease called COVID-19. This is a great threat to humanity. The virus has spread to almost all over the world, and the impact of the pandemic is being felt in nearly every aspect of our lives. Until now, there is no effective medicine that can be used to prevent and treat COVID-19. Therefore, to control the transmission of the COVID 19 virus, it is necessary to rely on community and use non-pharmaceutical interventions (NPIs), such as distancing social, protecting vulnerable groups, limiting public events and implementing global lockdowns. These measures are primarily to minimize the spread of COVID-19 person-to-person through social distancing (Nande, Adlam et al. 2021).

Studies conducted in the US (Amram, Amiri et al. 2020), India (Acharya and Porwal 2020), UK (Nicodemo, Barzin et al. 2020, Daras, Alexiou et al. 2021), Brazil (Santos, Siqueira et al. 2020) , Bangladesh (Rahman, Islam et al. 2021), European Union (Fu, Wang et al. 2021), Palestine (Shadeed and Alawna 2021) have shown that disease risk maps have effectively contributed to improving effectiveness of epidemics prevention, playing an important role in saving human lives as well as effectively overcoming the economic and social consequences caused by the pandemic. Therefore, since the COVID-19 pandemic appeared in the world, there have been many studies to establish disease risk maps such as COVID Vulnerability Index Map, Pandemic Vulnerability Index Map. The purpose of these maps is to identify high-risk locations for disease outbreaks, and then provide the most effective and appropriate adaptive methods based on population conditions, living conditions, infrastructure, healthcare, etc. in order to avoid human losses and maintain economic development at the maximum possible level (Acharya and Porwal 2020).

Till now, COVID-19 risk mapping has been reported in many nations in the world using various approaches. According to (Raju K, Lavanya R et al. 2020), one of tools that helps people can understand the disease is Geographic information systems (GIS). GIS provides a great framework for integrating disease-specific data with population settlements, social and healthcare facilities, and the surrounding natural environment. It also offers data that are highly appropriate for analyzing data and showing trends. (Sangiorgio and Parisi 2020) proposed the multicriteria approach and GIS technology for hazard evaluation of Covid-19 in urban district lockdown. Similarly, GIS-based MCDA was utilized to establish the COVID-19 vulnerability map for the West Bank, Palestine (Shadeed and Alawna 2021). In addition, in order to potentially vulnerable areas of the COVID-19 infection which can aid government organizations in maintaining disease management and preventing its spread, (Malakar 2022) generated the COVID-19 vulnerability map West Bengal, India through the GIS platform and an integrated fuzzy MCDM approach. On the other hand, this method also applies in constructing the COVID-19 vulnerability model in China (Gao, Jiang et al. 2022), assessing of COVID-19 vulnerability risk (Wyszyński, Grudziński et al. 2022), determining main social vulnerability indicators in the pandemic in Iran (Moslehi, Dehdashti et al. 2023), establishing COVID-19 susceptibility mapping (Sarkar 2020).

In addition GIS-based MCDA approach, (Dahu, Alaboud et al. 2023) confirmed the role of application satellite imaging, remote sensing technology, and geospatial data in identifying features and relationship that are connected to the global dissemination and mortality rate of COVID-19. Furethermore, (Mehmood, Bao et al. 2022) concluded that, in the upcoming years, the application of remote sensing technology will enable far more efficient monitoring and management of global

Fig. 1. The study area (Thapa and Murayama 2008)
Rys. 1. Obszar badań (thapa i Murayama, 2008)

Tab. 1. Sources and data used in the study
Tab. 1. Żródła i dane uzyte w badaniach

Data	Description	Source
Population density		http://www.worldpop.org.uk/
Land cover	2019 - 2021	https://www.eorc.jaxa.jp/
Land cover	10m resolution	Sentinel – 2, Global data 2020
Location of local markets in Hanoi City	2019 - 2021	Google Earth
Location of local markets in Hanoi City	July 5, 2021 to September 22, 2021	Ha Noi Center for Disease Control

pandemic risks. There are, this technology has been widely applied in research on the COVIDS pandemic. (Kanga, Sudhanshu et al. 2022) used remote sensing, GIS technology and local knowledge-based method to effectively solve the contagion of COVID 19 disease in India. In consultation with the local authorities, they spatially delineated different hazards zones and the activities that are permitted there. Besides, (Toulkeridis, Seqqat et al. 2022) used satellite images to analyze SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador. Additionally, combination of the Bayesian network and the GIS technology also used to build a model for analyzing the vulnerable regions due to the outbreak of pandemic in Bangkok, Thailand. This model employed to perform a scenario analysis led to the discovery of strategies for vulnerability management.

To be able to generate disease risk maps, spatial data plays an important role, as input for models to determine the disease risk index (Amram, Amiri et al. 2020). Based on statistics on the location of COVID-19 cases, it is possible to create correlations between some spatial information such as population density, per capita income, living conditions with risk of disease outbreak, etc. (Acharya and Porwal 2020). This spatial information can be collected through open data sources, or can be determined indirectly by spatial analysis models through existing spatial data such as, distribution of land covers, population data, etc. (Franch-Pardo, Napoletano et al. 2020).

In Vietnam, there have been studies to determine the location of diseases such as malaria (Bui and Pham 2016), geographical analysis of the occurrence of diarrhea caused by shigellosis bacteria in Vietnam (Kim, Ali et al. 2008), or the geographical distribution of dengue fever in Hanoi City (Thanh Toan, Hu et al. 2013). These studies show that geographic information/spatial information can contribute to improving the effectiveness of disease prevention, protecting people's lives, and ensuring health safety for Vietnam. In addition, GIS technology has also been proven to be effective in zoning the risk of covid-19 epidemic to decentralize the level of impact (Canh, Son et al. 2022). Besides, to forecast and zone epidemic areas to be able to provide the most accurate and fastest solutions, (Sơn, Nga et al. 2022) applied local geographical regression models to assess the epidemic situation throughout the city focusing on areas forecasted to have a high and very high infection risk. However, the COVID-19 epidemic is a new disease and appears rapidly, so there is almost no experience and not many studies using spatial data for forecasting and identifying epidemic risks. This study focuses on using spatial data and GIS to create spatial analysis models to for establishing the COVID-19 sensitivity maps for Hanoi city.

2. Study area

Hanoi, the capital of the Socialist Republic of Vietnam, is located between 20°53′ to 21°23′ north latitude and between 105°44′ to 106°02′ east longitude. It is the political, economic, cultural, scientific, and technical center of the whole country (Uy and Nakagoshi 2008). Located within the Red river delta of Northern, Ha Noi is the region with the highest density of population in the nation with almost 22 million people living there in an area of over 21,000 km^2, more than 8 million of whom live in urban zones (General Statistics Office 2020). The region around Hanoi is made up of plains near the southeast coast and is bounded to the north and west by mountains and hilly regions, including some significant national parks, such as Ba Vi and Tam Dao (Van den Berg, Van Wijk et al. 2003).

3. Methodology and data

3.1 Used data

During the research process, data on COVID-19 infections in Hanoi during the period from July 5, 2021 to Septem-

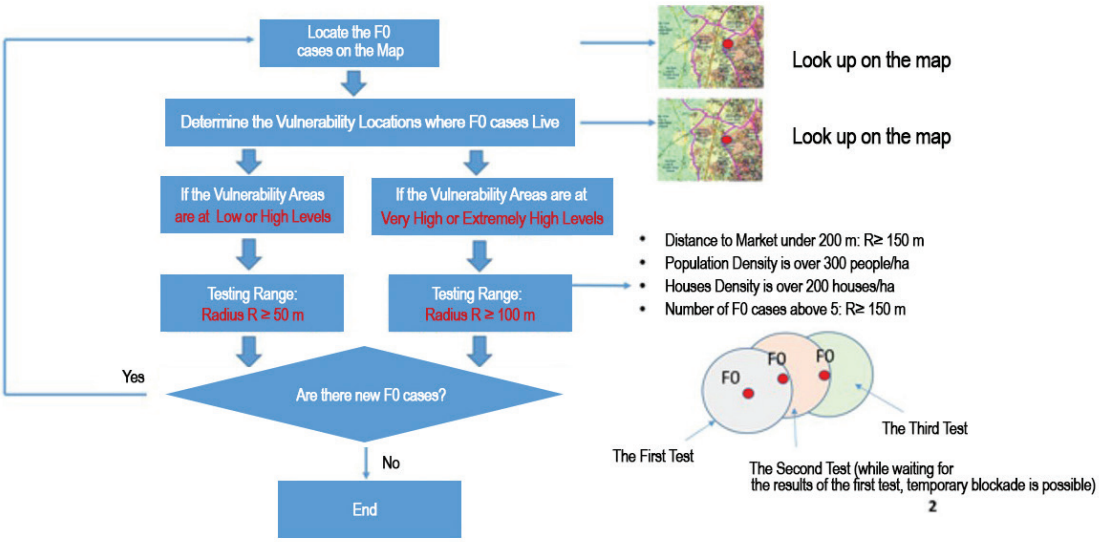


Fig. 2. Focused community screening testing

Rys. 2. Skoncentrowane badania przesiewowe społeczności

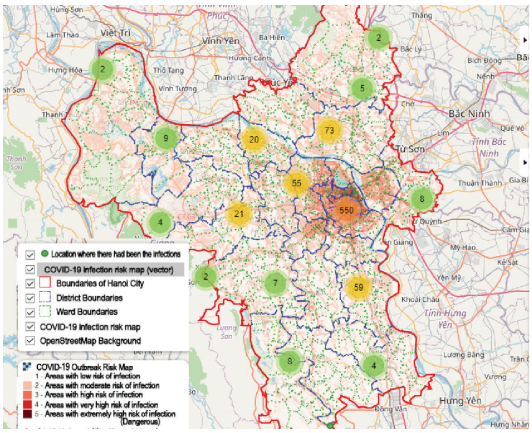


Fig. 3. COVID-19 Vulnerability Map of Hanoi city

Rys. 3. Mapa podatności na COVID -19 dla miasta Hanoi

ber 22, 2021 was collected at the Ha Noi Center for Disease Control (CDC Hanoi – 70 Nguyen Chi Thanh, Dong Da, Hanoi); At the same time, some necessary spatial data for establishing disease risk index maps are also obtained such as: land cover data, population data and population distribution, and local market data, commercial centers, apartments, data on industrial parks, etc. in Hanoi city. Table 1 shows the data and sources used in the study.

In the above data, the locations of over 3,500 F0 cases in Hanoi City (due to the lack of coordinate information, the team had to manually perform geocoding) were used for comparison with the model's results.

3.2 Methodology

The principle of determining sensitive areas is based on the number of F0 cases in a specific area (after identifying the location of the F0 cases on the map). Then, the ratio between the area with F0 cases (it can be a ward or commune, a district, a neighborhood, a residential group, etc.) and the total area in the study area will be determined. The higher this ratio means the greater the sensitivity of that area. In addition, for the purpose of centralized community screening, after determining the position of F0 cases on the map, the sensitivity index of the area where F0 cases live is calculated. Depending on the percentage value of this sensitivity index (it can be an average, high or very high sensitive area), the range for community testing can be identified (ie, the radius of the area that needs to be tested can be determined) (Figure 2). The COVID-19 susceptibility map is established according to the following process:

Quantify the values that characterize the sensitivity level of each size cell 100x100m (equivalent to 01 hectare) includes the total population within a radius of 500 meters and distance from each cell to sensitive geographical objects that easily become centers of epidemic spread such as markets, supermarkets, apartments, industrial areas, commercial centers, etc.

Calculate sensitive indicators for subjects such as: population density, markets, apartment, industrial areas, shopping centrer, and supermartket on each cell based on the number of people within 500 m in the area with F0 cases, distance from the areas where there are sensitive geographical objects mentioned above to the locations of the F0 cases. From there, the composite sensitivity index is determined based on the following formula (Sơn, Nga et al. 2022):

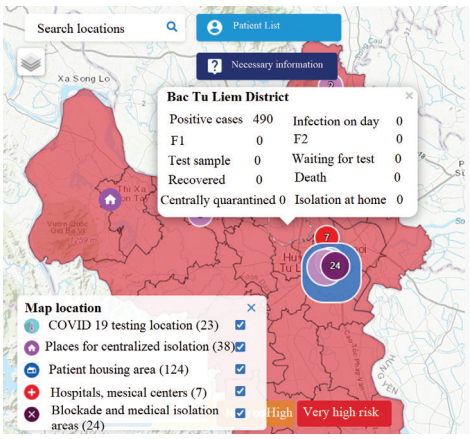


Fig. 4. Statistics on the COVID-19 epidemic in Bac Tu Liem district, Hanoi city
Rys. 4. Statystyki propoagacji epidemii COVID-19 w dzielnicy Bac Tu Liem w Hanoi

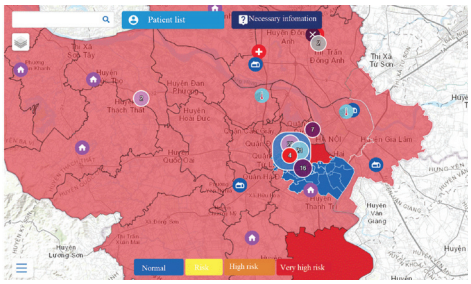


Fig. 5. The risk map of COVID 19 infection in Hanoi city
Rys. 5. Mapa ryzyka infekcji COVID-19 w Hanoi

$$Sensitive\_Index_i = W_{Po}*Po\_Index_i + W_{Ma}*Ma\_Index_i + W_{Ap}*Ap\_Index_i + W_{Su}*Su\_Index_i + W_{In}*In\_Index_i + W_{Sh}*Sh\_Index_i \quad (1)$$

In which: W_{Po}, W_{Ma}, W_{Ap}, W_{Su} are the weights of sensitive factors such as population density, market, apartment building, supermarket, industrial area, shopping centrer respectively.

Because the collected data is not large enough, in this study, the weight values of the above mentioned objects are considered the same and equal to 1

The relative composite sensitivity index value is calculated based on the following formula (Sơn, Nga et al. 2022):

$$Relative\_Sensitive\_Index_i = 100 * \frac{Sensitive\_Indexi}{Max\_of\_Sensitive\_Index} \quad (2)$$

The research team used open source software Quantum GIS (QGIS) to build spatial analysis models for establishing a map of the risk of COVID-19 infection. According to (Maitieg, Aljamel et al.), in addition to supporting all of the features of a GIS, QGIS is an open-source, cross-platform GIS that operates as a desktop program. Spatial data can be conveniently examined, modified, and analyzed by utilizing QGIS. In order to develop the COVID-19 susceptibility map, it is necessary to prepare base data including population density, land cover, location of local markets in Hanoi City. Then, adding the base layer map and the vector data. The result maps are generated by using QGIS software.

4. Results and discussion

The COVID-19 vulnerability map of Hanoi city was established based on data collected in the period from April 27, 2021 to September 7, 2021 (Figure 3). This map is used to determine the risk and speed of epidemic spread in Hanoi when the epidemic is uncontrollable. This map shows specific information about the testing locations, centralized quarantine places, the patient's home area, the locations the patients come within 14 days and after 14 days, and the position of the hospitals and medical centers, location of blockade and medical quarantine area. In addition, the areas with five risk levels display on the map including low, moderate, high, very high, and extremely high.

In addition, data on the number of positive cases, COVID-19 infected cases per day, F1, F2 cases, deaths, recovered cases, test samples and people waiting to be tested in areas of Hanoi city is also extracted from the map (Figure 4).

In addition, based on indicators of population density, distance to densely populated locations such as markets, shopping centers, industrial parks, supermarkets, shopping centre, etc., the risk map of COVID 19 infection in Hanoi city was also established (Figure 5). On this map, the risk level is divided into 4 levels: normal, risk, high risk, and very high risk.

Notably, information related to the epidemic in any location can also be accessed. Figure 6 is an example of data search in Thanh Xuan district:

In addition to the number of F0, F1, F2 cases, etc., a specific list of each F0 case in the search area is also displayed on the map (Figure 7).

The application method for research is based on geographical factors such as population, traffic, apartments, etc., so the ability to detect F0 is faster and more focused. In addition, the method used does not depend on the administrative

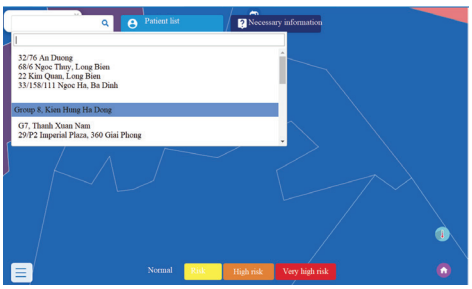


Fig. 6. Search any area in Hanoi city
Rys. 6. Selekcja danych w obszarze miasta Hanoi

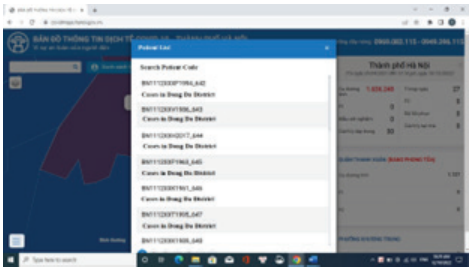


Fig. 7. Displaying the list of F0 patients in the search area
Rys. 7. Lista pacjentów grupy F0 w obszarze selekcji

boundaries between two communes or neighborhoods, thus the ability to detect F0 is a larger area in one test. At the same time, based on the risk index map and infection risk map, the determination of testing areas is flexible, narrowed or expanded depending on the actual detection of F0 cases and the residence characteristics of F0 cases. Based on terrain characteristics, it is possible to reduce the radius of the testing area, thereby reducing the objects of the testing area (For example: separated by canals, large roads, etc.), which means that the cost of testing is reduced. However, this method requires map data with the necessary information to determine the scope of the testing area. Furthermore, in order to the obtained results to be highly reliable, the coordination of testing between neighborhoods and neighborhoods and wards and wards in adjacent areas must be tight and synchronous. Most importantly, there is a risk of missing F0 cases when compared to testing the entire neighborhood or ward.

5. Conclusion

The study proposed the method for generating a COVID-19 sensitive map of Hanoi city using the QGIS technology. These maps will help identify high-risk areas for development of epidemics, thereby providing reasonable adaptation methods based on population conditions, living conditions, infrastructure, healthcare, etc. in the most effective way. This minimizes human losses while still maintaining economic development at the maximum possible level. On the other hand, researching models allows the identification of disease risk indicators from spatial data, as well as spatial analysis models that determine necessary information for epidemiological modeling such as population density, living conditions, information about population demographics, age, etc. It is also a necessary preparation to respond to the emergence of respiratory infectious diseases as well as other infectious diseases in the future.

Acknowledgements

This research was funded by Hanoi University of Mining and Geology, Grant Number T22-44.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Literatura – References

1. Acharya, R. and A. Porwal (2020). "A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study." The Lancet Global Health 8(9): e1142-e1151.
2. Amram, O., S. Amiri, R. B. Lutz, B. Rajan and P. Monsivais (2020). "Development of a vulnerability index for diagnosis with the novel coronavirus, COVID-19, in Washington State, USA." Health & place 64: 102377.
3. Bui, T. Q. and H. M. Pham (2016). "Web-based GIS for spatial pattern detection: application to malaria incidence in Vietnam." SpringerPlus 5(1): 1-14.
4. Canh, K. M., B. H. Son and L. T. Chon (2022). "Gis app proposed solutions to construction risk of Covid–19 in Thu Duc City." Journal of Hydro -Meteorology(4): 382-388.
5. Dahu, B. M., K. Alaboud, A. A. Nowbuth, H. M. Puckett, G. J. Scott and L. R. Sheets (2023). "The Role of Remote Sensing and Geospatial Analysis for Understanding COVID-19 Population Severity: A Systematic Review." International Journal of Environmental Research and Public Health 20(5): 4298.
6. Daras, K., A. Alexiou, T. C. Rose, I. Buchan, D. Taylor-Robinson and B. Barr (2021). "How does vulnerability to COVID-19 vary between communities in England? Developing a small area vulnerability index (SAVI)." J Epidemiol Community Health 75(8): 729-734.
7. Franch-Pardo, I., B. M. Napoletano, F. Rosete-Verges and L. Billa (2020). "Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review." Science of the total environment 739: 140033.
8. Fu, S., B. Wang, J. Zhou, X. Xu, J. Liu, Y. Ma, L. Li, X. He, S. Li and J. Niu (2021). "Meteorological factors, governmental responses and COVID-19: evidence from four European countries." Environmental research 194: 110596.
9. Gao, Z., Y. Jiang, J. He, J. Wu, J. Xu and G. Christakos (2022). "An AHP-based regional COVID-19 vulnerability model and its application in China." Modeling earth systems and environment: 1-14.
10. General Statistics Office, G. (2020). "Statistical Yearbook of Vietnam 2019." Statistical Publishing House: Hanoi, Vietnam.
11. Kanga, S., Sudhanshu, G. Meraj, M. Farooq, M. Nathawat and S. K. Singh (2022). "Reporting the management of COVID-19 threat in India using remote sensing and GIS based approach." Geocarto International 37(5): 1337-1344.
12. Kim, D. R., M. Ali, V. D. Thiem, J.-K. Park, L. von Seidlein and J. Clemens (2008). "Geographic analysis of shigellosis in Vietnam." Health & place 14(4): 755-767.
13. Maitieg, A., A. Aljamel and W. Eltarjaman "A Framework for Deploying GIS Applications to Monitor the Spatial Distribution of Epidemics. COVID-19 Epidemic in Libya Case Study."
14. Malakar, S. (2022). "Geospatial modelling of COVID-19 vulnerability using an integrated fuzzy MCDM approach: a case study of West Bengal, India." Modeling Earth Systems and Environment 8(3): 3103-3116.
15. Mehmood, K., Y. Bao, S. Mushtaq, M. A. Khan, N. Siddique, M. Bilal, Z. Heng, L. Huan, M. Tariq and S. Ahmad (2022). "Perspectives from remote sensing to investigate the COVID-19 pandemic: A future-oriented approach." Frontiers in Public Health 10: 938811.
16. Moslehi, S., A. Dehdashti, B. Pourmohammdi and F. Fatemi (2023). "Main social vulnerability indicators in the COVID-19 pandemic in Iran." Frontiers in Public Health 11: 1080137.
17. Nande, A., B. Adlam, J. Sheen, M. Z. Levy and A. L. Hill (2021). "Dynamics of COVID-19 under social distancing measures are driven by transmission network structure." PLoS computational biology 17(2): e1008684.
18. Nicodemo, C., S. Barzin, D. Lasserson, F. Moscone, S. Redding and M. Shaikh (2020). "Measuring geographical disparities in England at the time of COVID-19: results using a composite indicator of population vulnerability." BMJ open 10(9): e039749.
19. Rahman, M. R., A. H. Islam and M. N. Islam (2021). "Geospatial modelling on the spread and dynamics of 154 day outbreak of the novel coronavirus (COVID-19) pandemic in Bangladesh towards vulnerability zoning and management approaches." Modeling earth systems and environment 7: 2059-2087.
20. Raju K, Lavanya R, Manikandan S and Srilekha K (2020). "Application of GIS in COVID -19 Monitoring and Surveillance." International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 8(V).
21. Sangiorgio, V. and F. Parisi (2020). "A multicriteria approach for risk assessment of Covid-19 in urban district lockdown." Safety Science 130: 104862.
22. Santos, J. P. C. d., A. S. P. Siqueira, H. L. F. Praça and H. G. Albuquerque (2020). "Vulnerability to severe forms of COVID-19: an intra-municipal analysis in the city of Rio de Janeiro, Brazil." Cadernos de Saúde Pública 36.
23. Sarkar, S. K. (2020). "COVID-19 susceptibility mapping using multicriteria evaluation." Disaster medicine and public health preparedness 14(4): 521-537.

24. Shadeed, S. and S. Alawna (2021). "GIS-based COVID-19 vulnerability mapping in the West Bank, Palestine." International Journal of Disaster Risk Reduction 64: 102483.

25. Sơn, B. H., D. T. T. Nga and Đ. T. B. Lê Trung Chơn (2022). "Dự báo khu vực lan truyền nhạy cảm Covid–19 dựa vào phương pháp hồi quy."

26. Thanh Toan, D. T., W. Hu, P. Quang Thai, L. Ngoc Hoat, P. Wright and P. Martens (2013). "Hot spot detection and spatio-temporal dispersion of dengue fever in Hanoi, Vietnam." Global health action 6(1): 18632.

27. Thapa, R. B. and Y. Murayama (2008). "Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi." Land use policy 25(2): 225-239.

28. Toulkeridis, T., R. Seqqat, M. T. Arias, R. Salazar-Martinez, E. Ortiz-Prado, S. Chunga, K. Vizuete, M. Heredia-R and A. Debut (2022). "Volcanic Ash as a precursor for SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador: A satellite Imaging and excess mortality-based analysis." Disaster Medicine and Public Health Preparedness 16(6): 2499-2511.

29. Uy, P. D. and N. Nakagoshi (2008). "Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam." Urban Forestry & Urban Greening 7(1): 25-40.

30. Van den Berg, L. M., M. S. Van Wijk and P. Van Hoi (2003). "The transformation of agriculture and rural life downstream of Hanoi." Environment and Urbanization 15(1): 35-52.

31. Wyszyński, M., M. Grudziński, K. Pokonieczny and M. Kaszubowski (2022). "The assessment of covid-19 vulnerability risk for crisis management." Applied Sciences 12(8): 4090.

Badania nad stworzeniem modeli analizy przestrzennej na potrzeby opracowania Mapy Wskaźnika Podatności na Covid-19 w mieście Hanoi

Epidemia Covid-19 jest stopniowo wycofywana w Wietnamie, a także na całym świecie, jednak pojawienie się różnych wariantów wirusa SARS COVID 2 pozostaje ryzykiem, które może doprowadzić do nawrotu choroby. Dlatego przygotowanie informacji wspomagających zapobieganie epidemiom, w szczególności map ryzyka chorób opartych na danych przestrzennych, jest niezbędne, aby Wietnam mógł bezpiecznie żyć z wirusem SARS COVID 2. W artykule przedstawiono metodę tworzenia mapy miasta Hanoi wrażliwej na COVID-19 z wykorzystaniem technologii GIS. Stamtąd na tej mapie można zidentyfikować obszary o wysokim ryzyku szybkiej infekcji, gdy w społeczności występują pierwsze przypadki, oraz regiony o wysokim ryzyku wybuchu. Informacje te pomagają rządowi zaplanować priorytetowe traktowanie wczesnego objęcia szczepieniami, a także zaproponować rozsądne środki zapobiegania epidemii.

Słowa kluczowe: *COVID, CVI mapa, QGIS, Hanoi*

Analysis of the Progress of the Implementation of the Europe 2020 Strategy in Respect of Climate Change and Sustainable Energy Use in Poland

Aurelia RYBAK[1], Ewelina WŁODARCZYK[2]

[1] Silesian University of Technology, Faculty of Mining, Safety Engineering and Automation Industry, Akademicka 2 Street, 44-100 Gliwice, Poland; email: aurelia.rybak@polsl.pl; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5945-7991

[2] Silesian University of Technology, Faculty of Mining, Safety Engineering and Automation Industry, Akademicka 2 Street, 44-100 Gliwice, Poland; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0836-5998

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-63

Submission date: 16-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

The article presents reflections on the topic of the implementation of the Europe 2020 Strategy for Poland. The strategy covers five areas, namely research and development, education and higher education, poverty reduction and social exclusion, employment as well as energy and climate, which have been analysed in this article. Because the provisions of the strategy should already be achieved, it is necessary today to verify the progress of work, as well as to compare the achievements with the created plan. In order to be able to assess the progress of the implementation of the strategic plan, it is necessary to set indicators that will make it possible to determine whether the activities carried out facilitate the achievement of the objectives or whether they should be adjusted. In order to do it, the authors used 4 indicators. To be able to forecast when Poland would reach the set values by 2022, the authors constructed mathematical models with which the indicators values were forecast. The results obtained have been summarized and countermeasures have been identified that can help eliminate detected irregularities. The successful implementation of the strategy will have a significant impact on ensuring Poland's energy security and environmental sustainability.

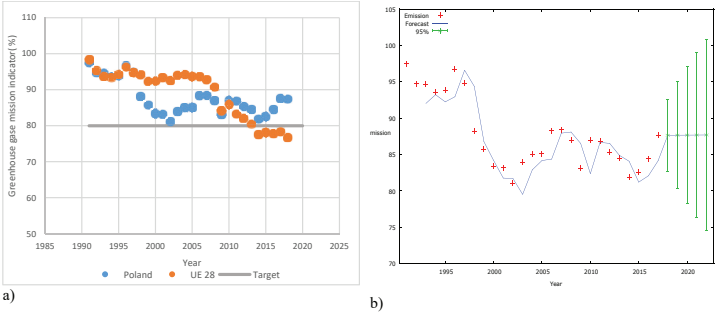
Keywords: *climate change, Europe 2020 Strategy, sustainable energy, ARIMA model*

1. Introduction

The global economic crisis that took place in 2007-2009 meant that the European Union began to search for a strategy that would not only enable it to overcome the crisis, but also would be able to direct the development of member countries on sustainable and intelligent growth (Szymańska & Zalewska, 2018; Gajewski, 2017). In order to do it, the so-called Strategy for smart and sustainable development was created with a set time horizon for implementation by 2020 (Rogge, 2019). In this article, the authors set the goal of trying to verify the progress of the implementation of tasks set by the strategy in Poland. For each of the indicators included in the document, there were defined the objectives that individual EU member states should achieve (Pavese, 2012). As the set goals should already be achieved, it is necessary to verify the progress of work and compare the already achieved results with the set target. The main postulates of the Strategy that will be analysed in this article are the increase in resource efficiency and the promotion of technology in the use of resources in an environmentally friendly manner (European Commission, 2020; Paľova & Václavíková, 2017). The indicators used for this purpose are: the level of greenhouse gas emission, share of renewable energy in gross final energy consumption, primary energy consumption, energy efficiency. The authors compared the level of these indicators set for 2020 with the values obtained thanks to the forecasts created by the authors. Thanks to this, it is possible to reliably assess the possibilities of achieving the set goals. The data used in the analysis were obtained from the Eurostat database.

2. Analysis of the implementation of the objectives of the Europe 2020 Strategy

The analysed indicators were assigned to the category Climate change and energy. The presented indicators are used to verify the progress of the implementation of the European Union policy in the scope of increasing energy efficiency by 20% by 2020 (Xavier, 2019; Yaltaa & Jenal, 2009; Yaltaa & Jenal, 2009). In addition, it was assumed that by 2030, efficiency should increase by a further 7%. Achievement of this goal will directly translate into a decrease in the value of the energy dependence indicator on imports of energy carriers, and at the same time reduce the level of greenhouse gas emission. The implementation of European Union provisions in Poland is based on the National Reform Programme (NRP). It presents the goals that Poland should achieve by 2020. The models used in the forecasts were created using the Gretl software. ARIMA time series models were used (Sen, Pal, & Roy, 2016; Yaltaa & Jenal, 2009). The reliability of each model was confirmed with information criteria AIC (Akaike criterion), Hannan Qiunn criterion, BIC (Schwarz Bayesian information criterion) (Piłatowska, 2010). The accuracy of the prediction was determined by means of the mean absolute percentage error (MAPE), the mean absolute error (MAE), average percentage error (Gruszczyński & Podgórska, 2007; Myttenaere, Rossi, Grand, & Golden, 2016). Since the shaping of the random component in the econometric model informs whether the model was built correctly, it should be confirmed that the rest of the model is white noise. In this case it is necessary to test the appropriate hypotheses. Lack of autocorrelation of residuals was confirmed by Durbin-Watson test, the occurrence of normal distribution of residues was verified by Jarque-Bera test. The estimation was carried out using the Kalman filter.



a) b)

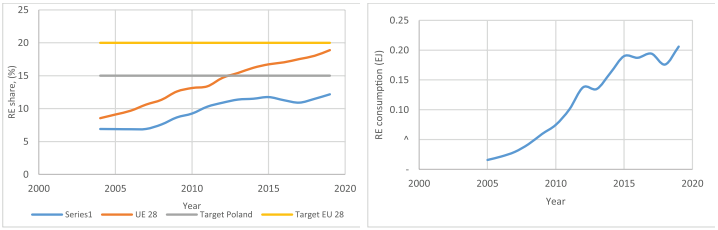
Fig. 1. Greenhouse gas emission rate in the years 1990-2018 (a), forecast till 2022, ARIMA (0,1,1) (b). Source: own study

Rys. 1. Tempo emisji gazów cieplarnianych w latach 1990-2018 (a), prognoza do 2022 r., ARIMA (0,1,1) (b). Źródło: opracowanie własne

Tab. 1. Error values and information criterion for the ARIMA model (0,2,1). Source: own study

Tab. 1. Wartości błędów i kryterium informacyjne dla modelu ARIMA (0,2,1). Źródło: opracowanie własne

Parameter	Value
MAPE	2,40
MAE	2,01
ME	0,59
Akaike	123,16
BIC	125,6
Hannan-Quinn	123,83



a) b)

Fig. 2. Share of renewable energy in gross final energy consumption in the years 2004–2019 (a), renewable energy consumption in Poland in the years 2005–2019. Source: own study

Rys. 2. Udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii brutto w latach 2004–2019 (a), zużycie energii odnawialnej w Polsce w latach 2005–2019. Źródło: opracowanie własne

2.1 Greenhouse gas emission

The amount of greenhouse gas emission in Poland tended to increase until 1989. The economic transformation that began in the early 90s resulted in many of the enterprises that had been created in the People's Republic of Poland being liquidated (Żółtkowski, Karpiński, Soroka, & Paradysz, 2013). They were not adapted to functioning on the free market. Thanks to this (despite serious social effects) it was possible to reduce the level of greenhouse gas emission. The renewed economic growth that took place after 1995 caused another surge in energy demand, thereby increasing the level of green emission (Farhani & Rejeb, 2012). Such a situation occurs periodically. Figure 1a shows time series of the greenhouse gas emission index determined as the ratio of emission in a given year to the base year in accordance with the Kyoto Protocol, i.e. in 1990. It includes such greenhouse gases as carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), as well as so-called F gases (fluorocarbons, perfluorocarbons, nitrogen trifluoride (NF3) and sulphur hexafluoride (SF6)) (Mayerhofer, et al., 2002; Vuuren, et al., 2007).

The EU as a whole was committed to achieving at least a 20% reduction in greenhouse gas emission by 2020 compared to the base year (1990). Already in 2017, the emission level for EU-28 reached the set goal, as the indicator was at the level of 78%. Its value for Poland is still 87%. Although CO_2 emission constitutes about 80% of all greenhouse gas emission in our country, and its level has long been lowered in accordance with the requirements imposed by the Kyoto Protocol, for the entire greenhouse gas package this situation is quite different. The NRP document assumes that due to the downward trend in the emission in the years 2005-2015 it will be possible to achieve a 20% decrease in emission. However, after 2015, greenhouse gas emission began to increase. A moving average model was created that is going to be used to make the forecast (figure 1b). It indicates that reaching the assumed 20% level in the coming years will be very difficult. If the factors affecting the time series do not change, one should take into account the stabilisation of the indicator at the level of 87% in the coming years. The factor that may currently affect the level of emissions are the restrictions related to the COVID-19 pandemic. Table 1 presents the values of the information criterion and the error of the constructed model. The model is very accurate because the error does not exceed 3%.

2.2 Renewable energy

The share of renewable energy in gross final energy consumption is another indicator included in the SE2020 strategy. Figure 2a presents the time series of the indicator in 2004–2019. Several periods can be clearly distinguished (in the case of Poland). The years 2004–2007, when the indicator remained practically unchanged at just under 7%, a period of gradual increase until 2015, when it reached 11.7% and the last two observations (2016–2019), when the indicator began to fall again. This was mainly due to the increase in gross final energy consumption.

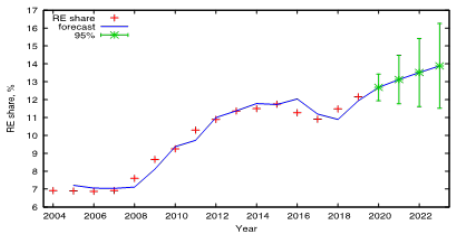


Fig. 3. The share of renewable energy in gross final energy consumption together with a forecast for the year 2022. Source: own study
Rys. 3. Udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii brutto wraz z prognozą na rok 2022. Źródło: opracowanie własne

Tab. 2. Error values and information criterion for the ARIMA (1,1,0) model. Source: own study
Tab. 2. Wartości błędów i kryterium informacyjne dla modelu ARIMA (1,1,0). Źródło: opracowanie własne

Parameter	Value
MAPE	3,23
MAE	0,31
ME	0,01
Akaike	20
BIC	22,13
Hannan-Quinn	19,98

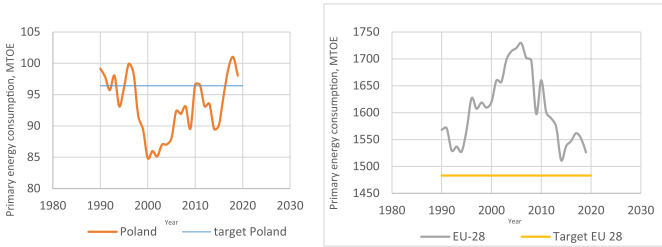


Fig. 4. Primary energy consumption in the years 1991–2019. Source: own study
Rys. 4. Zużycie energii pierwotnej w latach 1991–2019. Źródło: opracowanie własne

Despite numerous turbulences around renewable energy that took place in the last few years, RES consumption did not start to fall until 2018, as shown in Figure 2b. In 2019, another amendment to the Act on renewable energy sources was made. It contains many of the renewable energy industry's postulates and aims at compliance of the provisions of the Europe 2020 strategy. NRP assumed that achieving the set level of participation, i.e. 15%, would be possible. However, despite the upward trend of the share of renewable energy, which appeared again in 2018, the 15% share will not be reached even by 2022. It should also be remembered that without the support of the State, the development of renewable energy sources will not be viable. It is necessary to encourage investors as well as financial support for renewable energy sources and the use of support mechanisms, e.g. excise tax exemption (Laganowska, 2012).The share of renewable energy in Poland increased in 2005-2019 by 76 percentage points, in case of EU-28 it was an increase of 107 percentage points. In case of the EU-28 group, the share of renewable energy is systematically increasing. This was also possible thanks to the Directive 2009/28/EC, which emphasizes the promotion of renewable energy sources. EU-28 is on its way to achieving its goal (Figure 3). The countries that are definitely ahead in the use of renewable energy sources are Sweden, where more than half of the energy comes from renewable sources as well as Finland and Latvia. The created forecast supports the hypothesis put forward. It is presented in Figure 3. The ARIMA (1,1,0) model was used to predict future values of the time series. Table 2 presents information criterion values and model errors. It should be noted that the error does not exceed 3,5% in this case. The forecast indicates that until 2022 the share of renewable energy in gross final energy consumption will remain at around 13% if no decisive action is taken. It is also necessary to intensify activities in this regard in relation to the target set for 2030. At present, it is a 21% share, however, the European Commission will most likely be pushing for the target to be moved towards 25%.

2.3 Primary energy consumption

Increasing the level of energy efficiency in the European Union was possible mainly due to the introduction of energy-saving technologies and devices. It was also influenced by the elimination of energy-intensive industries. Figure 4 shows primary energy consumption in Poland and in the EU-28 countries. In case of Poland, a decrease in energy consumption should be noted in the early 1990s. Since 2000, primary energy consumption has begun to increase again. This was related to the economic development of the country, development of industry and creation of new companies (Asafu-Adjaye, 2000).This is also indicated by GDP growth. In Poland, this increase is still heavily dependent on energy consumption. In 2017, primary energy consumption again exceeded the consumption reduction ceiling. The target has not yet been reached for EU-28 countries. In spite the fact that comparing to the base year (2005) to 2017, consumption dropped by more than 9 percentage. In 2018, energy consumption increased in many EU countries, mainly Spain, Italy, Hungary, Portugal and Romania. This is mainly due to economic growth as well as the increasing demand for cooling and heat. In 2019, however, there was a decrease in energy consumption, but it still does not match the set target.

In this case, the ARIMA (1,1,1) model was used to create the forecast. The forecast of primary energy consumption

Tab. 3. Error values and information criterion for the ARIMA (1,1,1) model. Source: own study

Tab. 3. Wartości błędów i kryterium informacyjne dla modelu ARIMA (1,1,1). Źródło: opracowanie własne

Parameter	Value
MAPE	2,75
MAE	2,55
ME	0,40
Akaike	145,88
BIC	149,77
Hannan-Quinn	147,04

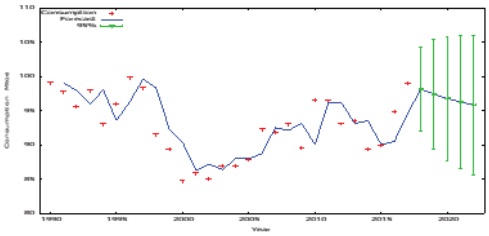


Fig. 5. Primary energy consumption with forecast until the year 2022. Source: own study

Rys. 5. Zużycie energii pierwotnej wraz z prognozą do roku 2022. Źródło: opracowanie własne

(Figure 5, Table 3) created by the authors indicates that a decline in primary energy consumption should be expected by 2020. NRP specifies that primary energy consumption should be limited to 96 Mtoe per year in terms of climate change and sustainable energy use. This figure is in line with the EU target. It is assumed that by 2020 this consumption will be 96.4 Mtoe. Basing on the results of the obtained forecast, it should be stated that it is possible to reduce consumption to the specified level. The predicted value for the time series for 2020 is 96.81 Mtoe. The forecast error was less than 3%. 2020, however, may not be representative due to the so far unique changes taking place as a result of the COVID-19 pandemic.

2.4 Energy productivity

Due to the fact that energy efficiency is measured by the level of primary energy consumption, the article additionally presents the level of the so-called energy productivity index determined according to the following formula:

$$E_p = GDP/E_c \quad (1)$$

where:

E_p – energy productivity,

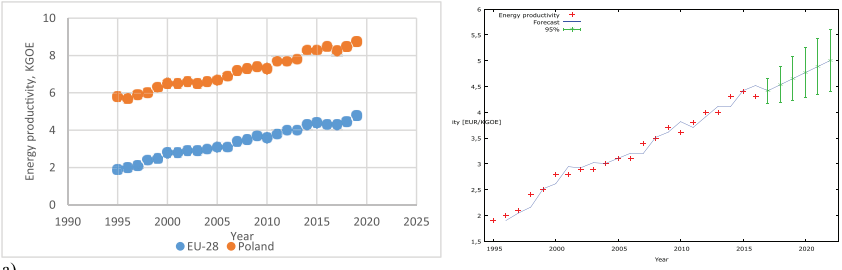
E_c – energy consumption.

Energy productivity is calculated as the total value of goods and services produced in the country expressed in money from a unit consumed at the same time of primary energy. The indicator measures the efficiency of energy consumption and determines the degree of independence of GDP growth from energy consumption. Eurostat sets the value of the energy productivity index using for this purpose the gross domestic product (GDP) and the gross inland consumption of energy (for a given calendar year). Gross domestic energy consumption is the total of gross domestic energy consumption based on renewable energy sources, coal, natural gas and crude oil. Energy productivity takes more factors into account than energy efficiency. This indicator does only include energy efficiency, but also additional ways to reduce energy costs. It might be, among others, a change of energy carrier, the use of renewable energy sources, storage of energy from renewable energy sources, a change of energy supplier. Without energy storage, renewable sources must be supported by conventional power plants that meet energy demand during a period of lower renewable energy production. Figure 6a presents energy productivity in the years 1995–2016 in Poland and the European Union. Figure 6b shows productivity in Poland with a forecast until 2022. Energy productivity was not included in the indicators enabling verification of the degree of implementation of the Europe 2020 strategy. However, due to the importance of this indicator, it was included in the article by the authors. Energy efficiency in Poland in 2005-2016 increased by 39%, in the EU by 28%, and over the years 1995-2017 it is on average twice higher for the EU than for Poland.

Taking into account the target set for energy efficiency at the level of 20% in the said period, the increase in productivity in Poland is almost twice as large. The forecast obtained indicates that further increases in energy productivity should be expected in Poland. In 2020, compared to the base year 2005, an increase of approximately 55 percentage points was calculated basing on the ARIMA model (1,1,1). Energy productivity means more production with the same or a smaller amount of energy used. This is important from the point of view of the country's economic efficiency. By using fewer resources, it is possible to achieve the effect of reducing the cost of producing goods and reducing the negative impact on the environment. Energy efficiency can also be determined basing on final energy consumption. Thanks to this, energy losses in the power supply system and deficiencies arising during transport are excluded.

3. Conclusion

Europe 2020 is a strategy adopted on 03.03.2010 by the European Commission. The provisions contained in the document are to stimulate the EU's economic development. This stimulation should support the so-called intelligent development, i.e. economy based on innovation, knowledge and sustainable growth, i.e. activities focused on the most optimal and effective use of resources, the use of modern technologies, and care for environmental protection. Control over the correct course of actions aimed at achieving the set goals is conducted basing on the set indicators. Since the deadline for implementing the strategy has expired, the authors decided to analyse the stage of completion of the actions taken to imple-



a) b)

Fig. 6. Energy productivity in the years 1995–2019 (a), forecast for the year 2022 (b). Source: own study
Rys. 6. Produktywność energetyczna w latach 1995–2019 (a), prognoza na rok 2022 (b). Źródło: opracowanie własne

Tab. 4. Error values and information criterion for the ARIMA (1,1,1) model. Source: own study
Tab. 4. Wartości błędów i kryterium informacyjne dla modelu ARIMA (1,1,1). Źródło: opracowanie własne

Parameter	Value
MAPE	3,40
MAE	0,11
ME	0,11
Akaike	-19,31
BIC	-16,18
Hannan-Quinn	-18,63

ment the SE2020 strategy. The strategy has been devoted to five areas of activity such as research and development, education and higher education, reduction of poverty and social exclusion, employment as well as energy and climate. The article focuses on analysing the state of implementation of the provisions of the last of the presented areas. The following indicators were analysed: the level of greenhouse gas emission, the share of renewable energy in gross final energy consumption, primary energy consumption and energy efficiency. In addition, the authors analysed energy productivity due to the universality and information that the indicator brings. The authors came to the following conclusions: with reference to the greenhouse gas emission rate - from 2015 the value of the indicator is moving away from the desired level of 80%. This is due to economic growth, production volume is increasing, and more and more cars are being bought in the country. At the same time, the goal has already been achieved for EU-28. In case of the share of renewable energy in gross final energy consumption, reaching the target of 15% share of energy from renewable sources by 2020 was very difficult due to the slow pace of development in previous years. The forecast has shown that in the coming years this indicator will remain at the level of around 11%. If the target is not met, Poland will have to make the so-called statistical transfer of renewable energy from those EU countries in which a surplus has been achieved. This unfavourable situation was caused, primarily, by the lack of consistency of the Polish State regarding the development of renewable energy, an unfriendly legal environment, tardiness in the preparation of implementing regulations and thus the lack of predictability of further development of renewable energy in Poland. Primary energy consumption - the world's energy consumption is steadily rising. This is related to the civilizational development, population growth and the desire to raise the standard of living. All these activities require access to energy carriers. Observing the time series of primary energy consumption in Poland, several periods can be distinguished: an increase in energy consumption until 1990, a decrease in consumption until 2000, and a period of re-growth after 2000. These changes were caused by the political and economic transformation of Poland. Economic development requires access to energy, while coal is the basic energy carrier in Poland. Coal burning has a negative impact on the environment. Therefore, it is necessary to use technologies aimed at reducing greenhouse gas emission, but also those that will improve energy efficiency as well as enable economical management of available fuels and energy obtained on their basis. Energy efficiency is a great way to increase energy security. The authors additionally presented the energy productivity index in the article. It is not only an excellent source of information on the energy efficiency of the economy, but also the degree of independence of GDP growth from energy consumption. Energy productivity should therefore be seen as an energy source from which the European Union ca benefit in the near future. The beginnings of the implementation of the Europe 2020 strategy coincided with the period of the economic crisis which went through the European Community. Problems related to it resulted in development activities being pushed into the background in most EU countries. The success of implementing SE 2020 is obviously of economic importance, but it would also have a positive impact on the opinion of the Union as a community capable of close cooperation and capable of achieving common goals, especially after the failures of the Lisbon Strategy. Summing up, the analysis presented in the article, according to the authors, indicates that in the area of climate change strategy and sustainable energy use, the goals designated for year 2020 has not been fully achieved especially in case of reducing greenhouse gas emission and achieving a 15% share of renewable energy gross final energy consumption. Since the time horizon up to 2020 does not provide the opportunity to apply appropriate countermeasures, it is necessary to extend the deadline for implementing SE 2020 and possibly revise the goals. Therefore, a new strategy and goals for the EU until 2030 have been set. These are mainly: at least 32.5% improvement in energy efficiency, at least 40% cuts in greenhouse gas emissions (from 1990 levels), at least 32% share for renewable energy. To successfully implement SE 2020, it is necessary to build the foundations of an innovative economy. The indicator proving the level of development

of a modern economy is the financing of the R&D sphere. Limited financing of research and development in Poland is typical for the area analysed in the article. Financial support in the field of development of renewable energy sources, clean coal technologies and solutions increasing energy efficiency would certainly speed up and enable compliance with the strategy's provisions. For the EU, the share of internal expenditure on research and development in GDP was set at 3%, for Poland it is 1.7%. Achievement of the goal will be possible in the event of member states fulfilling the obligations they took on. In 2017, the share of internal expenditure on research and development in GDP in Poland was 1.03%. Achieving the 3% level for the Community will be very difficult because in 2017 the highest level of the indicator was reached in Sweden and amounted to 3.4%. Without an increase in funding for R&D in a turbulent and uncertain environment and in the context of globalization, the European Union will not be able to become a leader and compete with the economies of other developed countries (Greene, 2001; Gupta & Grubb, 2000). Due to the current situation, the trends shaping the analyzed indicators may be distorted. During the pandemic, the lockdowns mainly reduced greenhouse gas emissions, as well as primary energy consumption. The mobility of citizens of many countries has been limited, the level of production in some industries has been temporarily limited, and the demand for services has decreased. However, the downward trends observed are unlikely to be sustained. After the pandemic, emissions and energy consumption are likely to return to their previous levels or increase due to the need to rebuild the economy and compensate the incurred losses.

Literatura – References

1. Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. 22, pp. 615–625.
2. European Commission. (2020). A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM (2010) 2020. Brussels.
3. Farhani, S., & Rejeb, J. (2012). Link between economic growth and energy consumption in over 90 countries. 3, pp. 282–297.
4. Gajewski, M. (2017). Policies Supporting Innovation In The European Union In The Context Of The Lisbon Strategy And The Europe 2020 Strategy. 20, pp. 109-127.
5. Greene, O. (2001). The globalization of world politics—An introduction to international relations Environmental issues. Oxford: Oxford University Press.
6. Gruszczyński, M., & Podgórska, M. (2007). Ekonometria. Warszawa: Oficyna Wydawnicza SGH.
7. Gupta, J., & Grubb, M. (2000). Climate change and European leadership—A sustainable role for Europe? 27, pp. 3-14.
8. Żółtkowski, W., Karpiński, A., Soroka, P., & Paradysz, S. (2013). Jak powstawały i jak upadały zakłady przemysłowe w Polsce (1946–2012). Warszawa: Muza.
9. Laganowska, Z. (2012). Ulgi podatkowe dla inwestycji w odnawialne źródła energii. 2, pp. 48-49.
10. Mayerhofer, P., de Vries, B., den Elzen, M., van Vuuren, D., Onigkeit , J., Posch, M., & Guardans, R. (2002). Long-term, consistent scenarios of emissions, deposition and climate change in Europe. 5, pp. 273-305.
11. Myttenaere, F., Rossi, B., Grand, B., & Golden, A. (2016). Mean Absolute Percentage Error for regression models. 192, pp. 38–48.
12. Paľova , D., & Václavíková, P. (2017). Comparison of Europe 2020 implementation process among European Union members states. 12, pp. 2376-2387.
13. Pavese, C. (2012). The contribution of the European Union to global climate change governance: Explaining the conditions for EU actorness. 55, pp. 125-143.
14. Piłatowska, M. (2010). Kryteria informacyjne w wyborze modelu ekonometrycznego. Kraków: Studia i Prace Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie.
15. Rogge, N. (2019). EU countries' progress towards 'Europe 2020 strategy targets'. 41, pp. 255-272.
16. Sen, P., Pal, P., & Roy, M. (2016). Application of ARIMA for forecasting energy consumption and GHG emission: A case study of an Indian pig iron manufacturing organization. 116, pp. 1031-1038.
17. Szymańska, A., & Zalewska, E. (2018). Towards the Goals of the Europe 2020 Strategy: Convergence or Divergence of the European Union Countries? 21, pp. 67-82.
18. Vuuren, D., den Elzen , M., Lucas, P., Eickhout, B., Strengers, B., Van Ruijven, B., Van Houdt , R. (2007). Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. 81, pp. 119–159.
19. Xavier, A. (2019). The European Union as a Leading Environmental Player? A critical analysis on the policy and commitments towards global development and climate change. pp. 135-151.
20. Yaltaa, A., & Jenal, O. (2009). On the importance of verifying forecasting results. 25, pp. 62-73.

Analiza postępów realizacji Strategii Europa 2020 w zakresie zmian klimatu i zrównoważonego wykorzystania energii w Polsce

Artykuł przedstawia refleksje na temat realizacji Strategii Europa 2020 dla Polski. Strategia obejmuje pięć obszarów, tj. badania i rozwój, edukację i szkolnictwo wyższe, ograniczanie ubóstwa i wykluczenia społecznego, zatrudnienie oraz energię i klimat, które zostały poddane analizie w niniejszym artykule. Ponieważ zapisy strategii powinny być już zrealizowane, konieczna jest dziś weryfikacja postępu prac, a także porównanie osiągnięć z założonym planem. Aby móc ocenić postępy w realizacji planu strategicznego, konieczne jest wyznaczenie wskaźników, które pozwolą określić, czy prowadzone działania ułatwiają osiągnięcie celów, czy też należy je skorygować. W tym celu autorzy posłużyli się 4 wskaźnikami. Aby móc prognozować, kiedy Polska osiągnie wyznaczone wartości do 2022 r., autorzy skonstruowali modele matematyczne, za pomocą których prognozowano wartości wskaźników. Uzyskane wyniki zostały podsumowane i zidentyfikowano środki zaradcze, które mogą pomóc wyeliminować wykryte nieprawidłowości. Pomyślne wdrożenie strategii będzie miało znaczący wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego Polski i zrównoważonego rozwoju środowiska.

Słowa kluczowe: *zmiany klimatu, Europe 2020 Strategy, zrównoważona energia, model ARIMA*

Determining the Level of Efficiency of Gas Distribution Enterprises in the Western Region of Ukraine

Dariusz SALA[1], Kostiantyn PAVLOV[2], Olena PAVLOVA[5], Roman DYCHKOVSKYI[6], Vladyslav RUSKYKH[3], Sergiy PYSANKO[4]

[1] AGH University of Krakow, Faculty of Management, Krakow, Poland; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1246-2045
[2] Lesya Ukrainka Volyn National University Department of Economics, Entrepreneurship and Marketing, Lutsk, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2583-9593
[3] Dnipro University of Technology, Department of Mining Engineering & Education, Dnipro, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5615-2797
[4] Ukrenergy Holding Ltd, Zaporizhzhia, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3335-0445
[5] Lesya Ukrainka Volyn National University Department of Economics, Entrepreneurship and Marketing, Lutsk, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8696-5641
[6] AGH University of Krakow, Faculty of Management, Krakow, Poland; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3143-8940

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-64

Submission date: 01-11-2023 | Review date: 23-11-2023

Abstract

This article analyses the current situation and processes of structural transformations in Ukraine's natural gas sector, particularly in its western region. The constant existence of violations of the market balance between supply and demand has necessitated reforms in the gas sector of Ukraine and its regions. From the standpoint of the unconditional importance of gas distribution companies in the structure formation and functioning of the gas sector of the state, the relevance of the proper functioning of natural gas distribution networks among consumers in times of war and political and economic crises will help reduce the level of potential risks, as well as ensure the integrity of the liberalized natural gas distribution system as a whole. The methods implemented in the process of analysing the level of efficiency of regional gas distribution systems include the methodology of expert assessments, which allowed for a generalized assessment of the expected results, contributed to the unification of existing approaches that reflect the level of economic and market efficiency, innovation activity, and financial stability of gas distribution companies. During the study, it was possible to identify the level of need for comprehensive measures, including several actions-analysis of the institutional environment of the Western Ukrainian natural gas distribution market, which includes the following joint stock companies: "Volynhaz", "Rivnehaz", "Ivano-Frankivskhaz", "Ternopilhaz", "Lvivhaz", "Zakarpathaz", "Hemlnytskhaz", "Chernivtsihaz". As a result of the study, it was possible to find out that the level of supply from Western Ukrainian gas distribution companies is regularly changing; Joint stock company "Zakarpathaz" can be considered the most promising and competitive; at the same time, Joint-stock company "Ternopilhaz" is characterized by the lowest level of its professional activity.

Keywords: *gas distribution, management of gas distribution enterprises, economic and business indicators of efficiency, distribution efficiency, western Ukraine*

1. Introduction

The national gas environment has been undergoing systemic structural transformation processes in the last two decades. Chronic misbalances between the supply of gas resources and the decline in aggregate demand that had been maturing for a long time and came to the surface have generated the reforming of the gas market within the regional structural units. From the viewpoint of the importance of functioning of the gas distribution network entities that are operating in total instability and political-economic crises, the institutional order will help to reduce the level of imbalance on the regional gas market, predict retrospective institutional development in the long run, foster investment, and promote integrity and accessibility of liberalized gas distribution system of the region in general.

Functional problems with regional gas distribution markets have been the subject of domestic and foreign research for a long time. Namely, such researchers as S. Hrubyak, M. Korotia, N. Linchvska, O. Pavlova, and K. Pavlov [1–3] have contributed significantly to the development of theoretical and practical aspects of regional gas distribution markets.

Innovative issues of development at the gas distribution companies in the context of their competitiveness increase are addressed in the studies of M. Korotia, V. Kupchak, O. Novosad, O. Shandrivska, L. Horal, S. Korol, O. Dzyoba [4–6]. One way to assess competitiveness is by analyzing the market share of each gas distribution company in Western Ukraine. A higher market share generally indicates a more competitive position. [5, 7, 8]. It is necessary to note, that Ukraine has significant renewable energy potential, particularly in solar, wind, and biomass resources. The South-Eastern region is known for its favorable conditions for solar and wind energy production. [8, 9]. However, withdrawal the fossil power generating sources is impossible [10, 11]. It is necessary to use different technical and technological approaches to the management of non-renewable energy sources and do it at an economically feasible level [12, 13].

Institutional aspects of entrepreneurship development in gas distribution enterprises refer to the various structures, policies, and support mechanisms put in place by governments, organizations, and societies to foster and encourage

Tab. 1. Relative indicators of assessment of property status and efficiency of property use for the gas distribution companies in the Western Region of Ukraine, 2017–2021

Tab. 1. Względne wskaźniki oceny stanu nieruchomości i efektywności wykorzystania nieruchomości dla spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy, 2017–2021

Year	Regional gas distribution network operator	Fixed assets operability ratio (Rfao)	Fixed assets depreciation ratio (Rfad)	Mobility rate (Rmob)	Capital and current assets ratio (Rcca)	Capital productivity (CapProd)	Capital intensity (CapInt)	Capital-labor ratio (Rcl)
2017	AT 'Volynhaz'	0,532	0,388	0,566	0,884	1,379	0,500	191,325
2018		0,729	0,421	0,822	3,147	6,093	0,176	327,245
2019		0,554	0,341	0,635	2,267	5,779	0,206	261,763
2020		0,640	0,433	0,499	1,172	4,588	0,199	237,422
2021		0,648	0,385	0,469	1,269	3,694	0,213	307,122
2017	AT 'Zakarpathaz'	0,586	0,418	0,580	1,751	6,139	0,143	151,978
2018		0,513	0,477	0,924	4,177	11,670	0,106	210,741
2019		0,577	0,379	0,876	2,872	1,283	0,768	179,692
2020		0,477	0,473	0,646	1,588	1,513	0,736	172,472
2021		0,439	0,459	0,672	1,758	0,997	0,779	276,081
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	0,464	0,424	0,611	2,189	5,128	0,252	100,124
2018		0,502	0,399	0,854	5,316	9,090	0,120	87,917
2019		0,583	0,549	0,401	1,119	1,800	0,741	76,128
2020		0,515	0,427	0,179	0,249	1,566	0,704	169,812
2021		0,571	0,514	0,313	0,328	1,040	0,660	173,979
2017	AT 'Lvivhaz'	0,639	0,498	0,708	1,600	3,322	0,223	178,508
2018		0,476	0,436	0,849	3,329	7,333	0,116	197,298
2019		0,507	0,000	0,878	4,354	10,163	0,099	175,144
2020		0,528	0,000	0,783	2,363	8,190	0,111	218,926
2021		0,584	0,560	0,636	2,507	6,388	0,186	264,870
2017	AT 'Rivnehaz'	0,540	0,387	0,622	1,835	3,797	0,229	175,693
2018		0,480	0,396	0,816	3,156	7,955	0,139	171,319
2019		0,626	0,462	0,893	3,309	7,439	0,109	180,403
2020		0,462	0,471	0,714	1,659	6,369	0,112	163,816
2021		0,529	0,537	0,493	1,331	4,372	0,196	271,208
2017	AT 'Ternopilhaz'	0,489	0,419	0,337	0,585	3,507	0,307	105,055
2018		0,623	0,394	0,392	0,854	1,564	0,556	138,425
2019		0,465	0,480	0,407	0,984	1,518	0,537	133,446
2020		0,634	0,548	0,273	0,516	1,444	0,622	139,865
2021		0,512	0,412	0,359	0,728	1,032	0,964	159,358
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	0,741	0,341	0,579	1,161	2,688	0,368	167,643
2018		0,561	0,382	0,831	1,989	6,121	0,210	265,253
2019		0,763	0,419	0,298	0,503	4,732	0,195	238,960
2020		0,511	0,348	0,503	1,510	4,899	0,206	247,303
2021		0,600	0,410	0,479	0,996	3,705	0,241	282,562
2017	AT 'Chernivtsihaz'	0,531	0,430	0,606	1,487	3,972	0,305	216,668
2018		0,666	0,468	0,750	3,101	5,930	0,129	198,118
2019		0,648	0,425	0,271	0,563	6,626	0,142	223,456
2020		0,468	0,430	0,322	0,490	6,438	0,150	202,141
2021		0,586	0,558	0,379	0,452	6,445	0,186	195,678

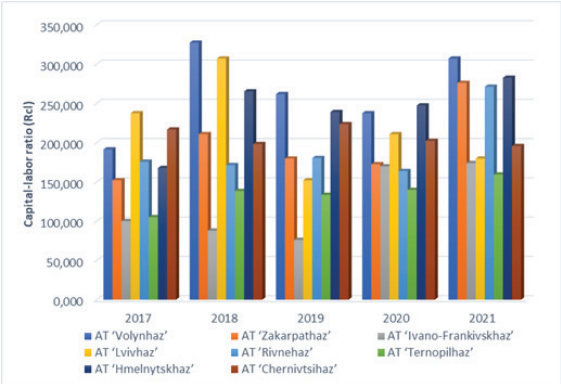


Fig. 1. Capital-labor ratio (Rcl) in years 2017–2021

Rys. 1. Stosunek kapitału do pracy (Rcl) w latach 2017–2021

entrepreneurial activities. These institutional aspects play a crucial role in shaping the environment within which entrepreneurs operate and can significantly impact the success and growth of entrepreneurial ventures. [12-14].

Meanwhile, the gap in a scientific and practical combination of institutional theory with practical terms of modernization of the gas distribution companies in the Western Region of Ukraine (GDCWRU) hasn't been eliminated yet. Ultimately, the hypothesis of stimulating the institutions of the gas distribution networks in the Western Region that generate the respective gas distribution environment should be developed, blending fragmentation and implementation of classical market theories on the systemic meso-economic level. The efficiency, reliability, and security of gas distribution will depend on that.

2. Theoretical background

Present conditions of market enhancement are characterized by the planned and intersectoral instability and they form the projected scenario of activity of the gas distribution companies in the region.

The dynamics of economic processes and their efficiency plays a crucial role in the implementation of the gas distribution companies' development strategy and the generation of their innovative and competitive ability. In a certain manner, it creates the framework for the efficient activity of regional gas distribution companies in the Western Region and is the mandatory basis for the most efficient institutional plane of their functioning [15-16].

The methods stipulating the methodologies of expert assessments that show the grounds for subjective evaluation and expected positive results constitute the dominat-

Tab. 2. Relative indicators of the analysis of the gas distribution companies' liquidity in the Western region of Ukraine in 2017–2021

Tab. 2. Względne wskaźniki analizy płynności spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy w latach 2017–2021

Year	Regional gas distribution network operator	Current ratio (Rcurrent)	Quick ratio (Rquick)	Cash ratio (Rcash)
2017	AT 'Volynhaz'	0.676	0.673	0.012
2018		0.841	0.840	0.013
2019		0.709	0.704	0.007
2020		0.425	0.409	0.010
2021		0.354	0.348	0.023
2017	AT 'Zakarpathaz'	0.939	0.796	0.021
2018		0.358	0.326	0.013
2019		0.267	0.265	0.009
2020		0.567	0.555	0.031
2021		0.367	0.361	0.010
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	0.837	0.828	0.021
2018		0.903	0.872	0.076
2019		0.706	0.611	0.032
2020		0.230	0.194	0.037
2021		0.182	0.159	0.017
2017	AT 'Lvivhaz'	0.940	0.868	0.057
2018		0.921	0.890	0.015
2019		0.781	0.775	0.009
2020		0.490	0.477	0.009
2021		0.442	0.422	0.030
2017	AT 'Rivnehaz'	0.872	0.888	0.046
2018		0.903	0.884	0.030
2019		0.871	0.873	0.010
2020		0.589	0.596	0.029
2021		0.425	0.459	0.030
2017	AT 'Ternopilhaz'	0.527	0.459	0.010
2018		0.567	0.526	0.006
2019		0.553	0.515	0.008
2020		0.281	0.238	0.009
2021		0.234	0.169	0.006
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	1.003	0.985	0.025
2018		0.967	0.919	0.036
2019		0.894	0.877	0.056
2020		0.583	0.585	0.013
2021		0.407	0.407	0.026
2017	AT 'Chernivtsihaz'	0.514	0.515	0.046
2018		0.700	0.706	0.031
2019		0.248	0.227	0.005
2020		0.164	0.138	0.012
2021		0.134	0.120	0.010

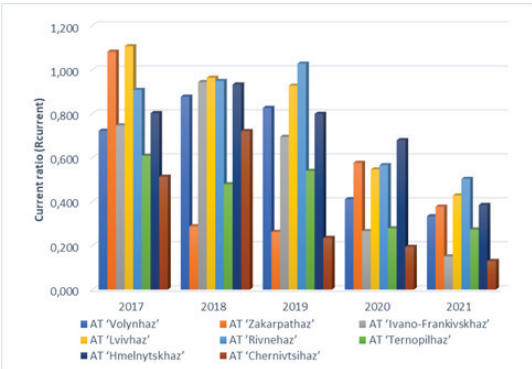


Fig. 2. Cash ratio (Rcash) in years 2017–2021

Rys. 2. Wskaźnik gotówki (Rcash) w latach 2017–2021

ing approach in the analysis of performance of the regional natural gas distribution markets [16, 17]. By using Monte Carlo simulation and forming theorems of data analyses, decision-makers in the natural gas industry can gain a better understanding of the uncertainties involved and make more informed and robust decisions regarding exploration, production, pricing, investment, and environmental planning [18, 19]. Important part of the natural gas management is also comparison of its processing with syn-gas. Gasification converts solid carbon-based materials into syngas, while natural gas distribution involves transporting and delivering natural gas to end-users for various energy applications. Both processes play vital roles in the overall energy supply chain and contribute to meeting global energy needs [20, 21]. The syn gas is the transforming the solid state of coal to gaseous state. Both natural gas processing and hard coal processing are essential for ensuring the supply of usable energy sources. Natural gas processing helps remove impurities to meet safety and quality standards, while hard coal processing enhances the energy content and reduces environmental impacts associated with coal combustion [22].

Consistent competitive escalations on national and regional markets of natural gas distribution continuously increase the level of innovative activity of the gas distribution companies and digital transformation and foster the improvement of political resilience against domestic and external threats, thus securing the highest efficiency level of the institutional environment they operate in [23].

Existing methodological approaches to determining the rate of performance and innovative activity of companies and organizations offered by prominent researchers have promoted the unification of approaches that represent the objective level of economic activity, financial resilience of a company, and its innovative activity [24, 25].

Tab. 3. Relative indicators of the gas distribution companies' profitability in the Western Region of Ukraine in 2017–2021

Tab. 3. Względne wskaźniki rentowności spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy w latach 2017–2021

Year	Regional gas distribution network operator	Return on assets	Return on equity	Return on sales	Return on margin	Capital payback period	Equity payback period
2017	AT 'Volynhaz'	-0.154	-90.687	0.145	-0.164	-6.491	-0.011
2018		-0.003	-0.351	0.037	-0.003	-297.226	-2.852
2019		-0.134	0.897	0.012	-0.090	-7.444	1.115
2020		-0.284	0.574	-0.057	-0.137	-3.522	1.744
2021		-0.135	0.199	-0.100	-0.071	-7.413	5.017
2017	AT 'Zakarpathaz'	-0.199	-1.203	-0.081	-0.122	-5.032	-0.831
2018		-0.015	-0.146	0.045	-0.025	-66.436	-6.831
2019		-0.001	0.021	0.051	-0.017	-709.267	47.958
2020		-0.457	1.605	-1.110	-0.511	-2.188	0.623
2021		-0.666	0.714	-1.402	-0.790	-1.501	1.401
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	-0.199	-1.203	-0.081	-0.122	-5.032	-0.831
2018		-0.015	-0.146	0.045	-0.025	-66.436	-6.831
2019		-0.001	0.021	0.051	-0.017	-709.267	47.958
2020		-0.457	1.605	-1.110	-0.511	-2.188	0.623
2021		-0.666	0.714	-1.402	-0.790	-1.501	1.401
2017	AT 'Lvivhaz'	-0.125	-1.228	-0.072	-0.090	-8.029	-0.814
2018		0.000	0.000	0.046	0.000	545.235	33.027
2019		-0.030	-0.154	0.015	-0.043	-32.842	-6.505
2020		-0.409	2.905	-0.270	-0.321	-2.448	0.344
2021		-0.631	0.840	-0.696	-0.478	-1.584	1.191
2017	AT 'Rivnehaz'	-0.112	-1.017	-0.101	-0.083	-8.918	-0.983
2018		-0.008	-0.160	0.040	-0.006	-122.283	-6.235
2019		-0.037	-2.992	0.013	-0.027	-26.791	-0.334
2020		-0.255	1.107	-0.046	-0.106	-3.924	0.904
2021		-0.212	0.451	-0.037	-0.097	-4.723	2.217
2017	AT 'Ternopilhaz'	-0.113	-0.331	-0.007	-0.059	-8.885	-3.017
2018		-0.126	-0.794	-0.039	-0.131	-7.962	-1.260
2019		-0.053	-0.495	0.027	-0.063	-18.885	-2.018
2020		-0.402	2.446	-0.284	-0.386	-2.489	0.409
2021		-0.734	0.803	-1.031	-0.606	-1.363	1.246
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	-0.03	-0.08	-0.03	-0.03	-29.02	-12.93
2018		-0.01	-0.04	0.05	0.00	-187.52	-25.87
2019		-0.21	-0.68	0.02	-0.06	-4.72	-1.48
2020		-0.25	1.40	-0.03	-0.12	-4.08	0.72
2021		-0.22	0.54	-0.10	-0.12	-4.49	1.86
2017	AT 'Chernivtsihaz'	-0.221	1.370	-0.092	-0.136	-4.532	0.730
2018		-0.029	0.232	0.017	-0.019	-34.241	4.308
2019		0.491	-1.123	-0.005	0.101	2.037	-0.890
2020		0.961	-1.042	-0.069	0.182	1.040	-0.959
2021		-0.955	0.565	-0.255	-0.244	-1.047	1.771

3. Research objective, methodology and data

In the course of our scientific research, we have detected the need to implement the complex approach of a range of measures with further orientation on foreign and domestic approaches to the analysis of the institutional environment of the Western regional market of natural gas distribution and eight gas distribution network operators functioning on it, including [26-29]:

AT 'Volynhaz' – 7 customer service centers (CSCs) located in Lutsk, Kovel, Kamin-Kashyrskyi, Volodymyr Volynskyi, Ratne, Kivertsi, Horohiv;

AT 'Rivnehaz' – 6 CSCs located in Rivne, Zdolbuniv, Sarny, Dubno, Berezne, Kostopil;

AT 'Ivano-Frankivskhaz' – 6 CSCs located in Ivano-Frankivsk, Kalush, Kolomyya, Nadvirna, Dolyna, Snyatyn;

AT 'Ternopilhaz' – noCSCs;

AT 'Lvivhaz' – 5 CSCs located in Lviv, Sambir, Czervonohrad, Stryi, Pustomyty;

AT 'Zakarpathaz' – 4 CSCs located in Uzhorod, Mukachevo, Hust, Svalyava;

AT 'Hemlnytskhaz' – 11 CSCs located in Hmelnytskyi, Kamyanets-Podilskyi, Slavuta, Volochysk, Izyaslav, Krasyliv, Starokostyantyniv, Bilohirya, Horodok, Polonne, Yarmolyntsi;

AT 'Chernivtsihaz' – 3 CSCs located in Chernivtsi, Kitsman, Sokyryany.

It is worth considering the fact that the markets of the natural gas distribution in Ukraine and its regions are formed on market monopoly grounds controlled directly by the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities (NKREKP). Its competencies sometimes fail to meet the corporate policy of avoiding the threats of sectoral functioning. Therefore, the issue should be addressed in more detail based on the researched parameters, including [30, 31]:

Relative indicators of assessment of a company's property status and efficiency of the property use. This group includes 7 main coefficients. Their main characteristics are outlined below [32]:

– fixed assets operability ratio (Rfao) is intended to detect the share of fixed assets suitable for exploitation, which directly impacts the gas distribution company's performance. It is calculated the following way:

$$Rfao = \frac{Residual\ value\ of\ fixed\ assets}{Original\ cost\ of\ fixed\ asssets}, \quad (1)$$

– fixed assets depreciation ratio (Rfad). It shows the cost of fixed assets written off as operating expenditures in previous periods. Meanwhile, the growing depreciation rate is a negative trend because the rate <0.5 is considered optimal. It is calculated the following way:

$$Rfad = \frac{Fixed\ assets\ depreciation}{Original\ cost\ of\ fixed\ assets}, \quad (2)$$

– mobility ratio (Rmob). It indicates how quickly a company can change the structure of its assets not losing their cost. The higher is the rate the better is the situation for the company. It is calculated the following way:

$$Rmob = \frac{Current\ assets}{Assets}, \quad (3)$$

– capital and current assets ratio (Rcca). It characterizes the level of a company's accounting liquidity that directly impacts its performance. It is calculated the following way:

$$Rcca = \frac{Current\ assets}{Capital\ assets}, \quad (4)$$

– capital productivity (CapProd) describes the level of business activity of a company in the context of fixed assets

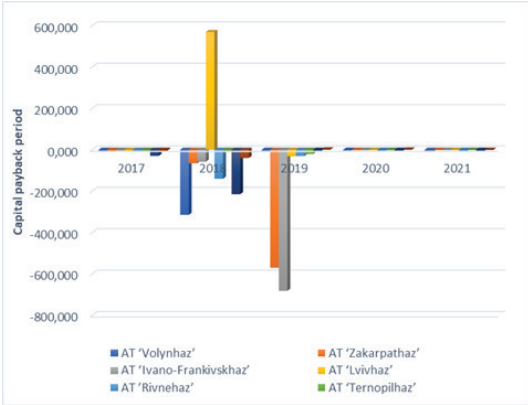


Fig. 3. Capital payback period in years 2017–2017

Rys. 3. Okres zwrotu kapitału w latach 2017–2017

use efficiency. To put it differently, the rate determines the volume of services granted per monetary unit (hryvnya) of financial resources invested in fixed assets. Regarding the standard value, there is no specific figure, 'yet, the rate should be compared to those of the competitors' [33].

$$CapProd = \frac{Net\ sales}{Residual\ value\ of\ fixed\ assets}, \tag{5}$$

– capital intensity (CapInt) is the reverse indicator to capital productivity that shows the amount of fixed assets spent per unit of output/provided services. Meanwhile, the trend towards the decrease in the coefficient value is considered positive. It is calculated the following way:

$$CapInt = \frac{Residual\ value\ of\ fixed\ assets}{Net\ sales}, \tag{6}$$

– capital-labor ratio (Rcl). It characterizes the cost of fixed production assets per employee at the company. Basically, it is the indicator of fixed assets use efficiency that determines the level of labor equipment with fixed production assets. It is calculated the following way:

$$Rcl = \frac{Residual\ value\ of\ fixed\ assets}{Average\ number\ of\ regular\ employees}, \tag{7}$$

Relative indicators of analysis of a company's liquidity.

This group of indicators demonstrates the ability of a gas distribution company to quickly convert assets to money. They include the quick ratio (Rquick), current ratio (Rcurrent), and cash ratio (Rcash).

– quick ratio (Rquick). This indicator characterizes the possibility to cover the liabilities of a gas distribution company by liquid assets. The optimal coefficient value ranges within0.7–1.

$$Rquick = \frac{Cash + current\ financial\ investment + promissory\ notes\ received + accounts\ receivable}{Current\ liabilities}, \tag{8}$$

– current ratio (Rcurrent). It is the indicator of a company's financial capacity to cover its current liabilities by current assets. Therefore, the main designation of this indicator is to demonstrate the availability of hryvnyas of current assets per each monetary unit of current liabilities. The standard value of this indicator should be 1–3.

$$Rcurrent = \frac{Current\ assets + Capital\ assets\ for\ sale}{Current\ liabilities}, \tag{9}$$

– cash ratio (Rcash). It provides an overall assessment of assets liquidity, showing what share of current liabilities a company can cover by the realization of its entire current assets, including inventories.

The coefficient within 0.1–0.2 is the standard value. A low value of the coefficient proves that a company fails to promptly repay debts if necessary. Meanwhile, high value testifies to the problems in the company and is an indicator of an inefficient strategy of financial resources management. The indicator is calculated the following way:

$$Rcash = \frac{Cash + Current\ financial\ investment}{Current\ liabilities}, \tag{10}$$

Relative indicators of a company's profitability.

Profitability is the main indicator of a company's performance because it shows the level of return on assets and equity use. It is worth singling out the following profitability indicators:

– return on assets (ROA). The indicator shows the income per hryvnya of assets. There is no standard value but the higher is the rate the better a gas distribution company manages its assets:

$$ROA = \frac{Net\ income}{Total\ assets}, \tag{11}$$

– return on equity (ROE). The coefficient shows how much hryvnyas of profits brings one hryvnya of equity. It is calculated the following way:

$$ROE = \frac{Net\ income}{Equity}, \tag{12}$$

– return on sales (ROS). The indicator helps to assess the efficiency of services and output realization by gas distribution companies. The higher is the rate the more successful is the company in its activity. It is calculated the following way:

$$ROS = \frac{Gross\ profit}{Revenues}, \tag{13}$$

– return on margin (ROM). It describes the ratio of profits from sales of output/provision of services of the gas distribution companies against the incurred production costs. A higher value of the indicator is positive for a company:

$$ROM = \frac{Gross\ profit}{Cost\ of\ goods\ sold}, \tag{14}$$

Tab. 4. Relative indicators of business activity of the gas distribution companies in the Western Region of Ukraine in 2017–2021

Tab. 4. Względne wskaźniki działalności spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy w latach 2017–2021

Year	Regional gas distribution network operator	Total asset turnover ratio (ATR)	Equity turnover ratio	Current asset turnover ratio	Receivables turnover ratio (RTR)	Accounts payable turnover ratio (ARTR)
2017	AT 'Volynhaz'	0.816	480.127	1.609	1.643	1.268
2018		1.325	138.047	1.801	1.831	1.466
2019		1.507	-10.058	2.110	2.146	1.487
2020		1.963	-3.964	3.351	3.571	1.518
2021		1.717	-2.537	3.258	3.544	1.282
2017	AT 'Zakarpathaz'	1.509	9.136	2.262	2.741	2.323
2018		0.632	6.146	2.049	2.343	0.703
2019		0.088	-1.308	0.320	0.332	0.081
2020		0.424	-1.487	0.661	0.715	0.803
2021		0.351	-0.376	0.535	0.558	0.477
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	1.289	12.707	1.819	1.887	1.658
2018		1.581	26.097	1.933	2.196	1.684
2019		0.717	3.619	1.466	1.789	1.065
2020		1.004	-7.137	4.491	6.604	1.388
2021		0.778	-1.035	2.681	3.424	0.859
2017	AT 'Lvivhaz'	1.310	5.588	1.976	2.291	2.007
2018		1.408	13.698	1.773	1.866	1.566
2019		1.513	-22.375	1.868	1.905	1.439
2020		2.128	-4.037	2.920	3.063	1.496
2021		1.417	-2.205	2.054	2.318	1.058
2017	AT 'Rivnehaz'	1.226	11.122	1.849	1.917	1.786
2018		1.343	26.338	1.686	1.783	1.465
2019		1.401	112.279	1.744	1.760	1.504
2020		2.300	-9.990	3.471	3.608	2.224
2021		2.112	-4.499	3.762	3.723	1.816
2017	AT 'Ternopilhaz'	1.904	5.608	5.470	6.423	3.131
2018		0.923	5.833	1.936	2.110	1.145
2019		0.861	8.058	1.743	1.902	2.686
2020		0.811	-4.936	2.476	3.045	0.919
2021		0.596	-0.652	1.333	1.914	0.644
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	1.157	2.597	2.211	2.308	2.326
2018		1.261	9.139	1.783	1.951	1.653
2019		3.371	10.733	10.159	11.069	9.352
2020		1.927	-10.957	3.344	3.408	2.035
2021		1.706	-4.106	3.481	3.713	1.593
2017	AT 'Chernivtsihaz'	1.489	-9.240	2.670	2.922	1.510
2018		1.590	-12.635	2.105	2.183	1.454
2019		4.859	-11.118	14.875	16.562	3.735
2020		4.929	-5.343	16.644	21.584	2.948
2021		3.121	-1.845	9.035	10.942	1.527

– equity payback period (EPP). The coefficient helps to determine the time needed to compensate the equity with profits. The lower is the value the more efficient is the company:

$$EPP = \frac{Equity}{Net\ income}, \tag{15}$$

– capital payback period (CPP).If to consider this coefficient, it characterizes the time needed to compensate all the capital of a gas distribution company (including invested capital) with the net income of the company.

$$CPP = \frac{Balance}{Net\ income}, \tag{16}$$

Relative indicators of business activity.

It is worth mentioning that business activity is the complex characteristics of a company that determines its place on the market, describes the system of business relations, and characterizes the gas distribution company's image and innovative-investment activity, etc. Therefore, in our opinion, the following indicators should be considered to estimate competitiveness:

– total asset turnover ratio (ATR). The coefficient shows the intensity of a company's total capital turnover. The fact of growing current assets on condition of the company's profitability is a positive trend.

$$ATR = \frac{Net\ sales}{Total\ assets}, \tag{17}$$

– equity turnover ratio (ETR). The coefficient indicates the intensity of a company's equity turnover. Growing dynamics is considered positive.

$$ETR = \frac{Net\ sales}{Equity}, \tag{18}$$

– current asset turnover ratio (CATR).It shows the number of turnovers of current assets in a certain period and the amount of net sales per one hryvnya of current assets.

$$CATR = \frac{Net\ sales}{Current\ assets}, \tag{19}$$

– receivables turnover ratio (RTR).It shows how much the revenue exceeds the accounts receivable. The growing value of this indicator confirms the fact of sales with the possibility of deferred payment by the cost of agreements and deadlines as well as improving payment discipline. Therefore, the fact of dynamic growth of the indicator's value is positive.

$$RTR = \frac{Net\ sales}{Accounts\ receivable}, \tag{20}$$

– accounts payable turnover ratio (ARTR). It shows in quantitative terms how often the debt occurs over a certain period for a gas distribution company, which is subsequently covered by the latter. The growing value of this indicator (coefficient) can prove the fact of improving fulfillment of payment obligations in the process of interaction with budget organizations, creditors, and suppliers, or declining purchases with deferred payment.

$$ARTR = \frac{Product\ costs}{Accounts\ payable}, \tag{21}$$

Relative indicators of financial resilience. This group of indicators demonstrates the dependence of a company's financial risks on borrowed capital. In particular, it means that financial resilience indicators show the company's ability to

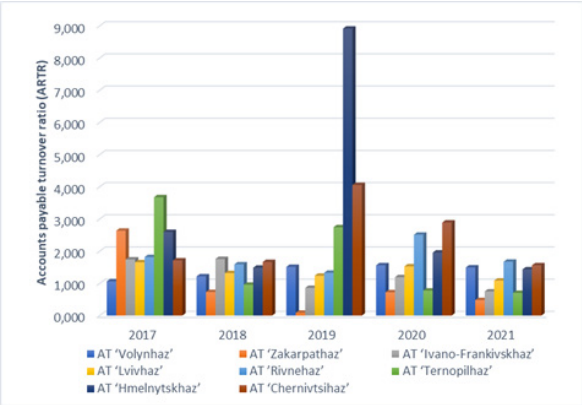


Fig. 4. Accounts payable turnover ratio (ARTR) in years 2017–2021

Rys. 4. Wskaźnik rotacji zobowiązań (ARTR) w latach 2017–2021

react to the external and internal environment without decreasing the financial and production effects of the activity.

– autonomy ratio (coefficient of financial independence) (AR). It reflects the share of a company's assets generated by its equity. The critical value of the coefficient is 0.5.

$$AR = \frac{Equity}{Balance}, \tag{22}$$

– financial dependence ratio (FDR). The indicator is inversely proportional to the autonomy ratio. If the indicator grows, the share of borrowed financial resources gains importance, which confirms the loss of financial independence by a gas distribution company. The value <2 is considered optimal for this indicator. If the coefficient falls to 1, it can be assumed that the company's operation is secured only due to owners' resources.

$$FDR = \frac{Balance}{Equity}, \tag{23}$$

– leverage ratio (financial risk coefficient) (LR). The coefficient shows the ratio between borrowed funds and equity. It constitutes the generalized assessment of the financial resilience of a gas distribution company because it demonstrates the amount of borrowed funds against a unit of equity.

$$LR = \frac{Debt}{Equity}, \tag{24}$$

– solvency ratio (coverage coefficient) (SR). When characterizing a company's solvency, it is necessary to use the solvency coefficient (coverage coefficient). It shows a gas distribution company's ability to cover debts by equity:

$$SR = \frac{Equity}{Debt}, \tag{25}$$

– self-financing ratio (SFR). It indicates whether a gas distribution company has enough operating capital to secure funding of its needs in the process of current activity.

$$SFR = \frac{Operating\ capital}{Balance}, \tag{26}$$

– debt-to-equity ratio (D/E). It shows the share of balance assets created by reliable and stable funding sources.

$$D/E = \frac{Debt}{Equity}, \tag{27}$$

Relevant indicators of regional market (region/total rate for Ukraine). In our opinion, the positions and features of a region against the national market in Ukraine should be considered to evaluate the key positions of a regional operator of gas distribution networks on the natural gas market. It eliminates the scale effect on the market and helps to adequately assess the indicators of each regional natural gas distribution market. The relevant indicators of regional market are listed below.

The specific quantity of households applying for subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel. The specific quantity of households with assigned subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel [34, 35].

The specific quantity of households having received subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel. The specific weight of the sum of assigned subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel by the type of area, total (in urban and rural areas separately). The ratio of the average size of assigned subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel in a region and Ukraine (in urban and rural areas separately). The specific weight of the sum of received subsidies to buy liquefied gas or solid or liquid household fuel in a region (in urban and rural areas separately). The length of the gas distribution system in an oblast against the national rate (across the type of ownership). Capital investment by the types of industrial activity, gas, electricity, steam, and air conditioning supply against the total amount in an oblast, %. The growth rate of the cost and income from natural gas. The growth rate of the cost and income from liquefied gas.

Results and discussion

Based on the methodological approaches, the integral indicator of the "performance" of regional gas distribution companies under research (natural gas distribution operators) was calculated.

At the first research stage, the system of analytical indicators necessary to perform further calculations was selected and analyzed. For this purpose, a broad range of statistical and financial information regarding the activity of gas distribution companies in the Western Region of Ukraine in 2017–2021was systematized [36–41]. For data processing, approaches were applied, which were used by authors for analyzing the economic and technical parameters in the operation of mining enterprises [42].

Tab. 5. Relative indicators of financial resilience of the gas distribution companies in the Western Region of Ukraine in 2017–2021

Tab. 5. Względne wskaźniki odporności finansowej spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy w latach 2017–2021

Year	Regional gas distribution network operator	Autonomy ratio	Financial dependence ratio	Leverage ratio	Solvency ratio	Self-financing ratio	Debt-to-equity ratio
2017	AT 'Volynhaz'	0.002	588.633	587.633	0.002	-0.243	0.250
2018		0.010	104.206	105.206	0.010	-0.120	0.144
2019		-0.150	-6.675	-7.675	-0.130	-0.293	-0.007
2020		-0.495	-2.020	-3.020	-0.331	-0.791	-0.377
2021		-0,677	-1,478	-2,478	-0,404	-0,962	-0,489
2017	AT 'Zakarpathaz'	0,165	6,054	5,054	0,198	-0,043	0,290
2018		0.103	9.726	8.726	0.115	0.049	0.137
2019		-0.068	-14.789	-15.789	-0.063	-0.123	-0.037
2020		-0.285	-3.512	-4.512	-0.222	-0.489	-0.130
2021		-0.933	-1.071	-2.071	-0.483	-1.133	-0.790
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	0.101	9.861	8.861	0.113	-0.138	0.153
2018		0.061	16.509	15.509	0.064	-0.088	0.095
2019		0.198	5.049	4.049	0.247	-0.204	0.307
2020		-0.141	-7.110	-8.110	-0.123	-0.748	0.029
2021		-0.752	-1.330	-2.330	-0.429	-1.305	-0.596
2017	AT 'Lvivhaz'	0.234	4.265	3.265	0.306	-0.042	0.295
2018		0.103	9.726	8.726	0.115	-0.068	0.137
2019		-0.068	-14.789	-15.789	-0.063	-0.227	-0.037
2020		-0.527	-1.897	-2.897	-0.345	-0.757	-0.486
2021		-0.643	-1.556	-2.556	-0.391	-0.870	-0.560
2017	AT 'Rivnehaz'	0.110	9.072	8.072	0.124	-0.097	0.240
2018		0.051	19.612	18.612	0.054	-0.086	0.118
2019		0.012	80.161	79.161	0.013	-0.119	0.078
2020		-0.230	-4.343	-5.343	-0.187	-0.462	-0.124
2021		-0.469	-2.130	-3.130	-0.319	-0.761	-0.322
2017	AT 'Ternopilhaz'	0.340	2.945	1.945	0.514	-0.312	0.340
2018		0.158	6.318	5.318	0.188	-0.365	0.158
2019		0.107	9.357	8.357	0.120	-0.399	0.107
2020		-0.164	-6.087	-7.087	-0.141	-0.724	-0.164
2021		-0.914	-1.094	-2.094	-0.478	-1.467	-0.914
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	0.446	2.245	1.245	0.803	0.001	0.478
2018		0.138	7.250	6.250	0.160	-0.024	0.269
2019		0.314	3.184	2.184	0.458	-0.039	0.629
2020		-0.176	-5.687	-6.687	-0.150	-0.413	0.011
2021		-0.415	-2.407	-3.407	-0.294	-0.714	-0.204
2017	AT 'Chernivtsihaz'	-0.161	-6.208	-7.208	-0.139	-0.528	-0.085
2018		-0.126	-7.949	-8.949	-0.112	-0.324	-0.079
2019		-0.437	-2.288	-3.288	-0.304	-0.985	-0.320
2020		-0.922	-1.084	-2.084	-0.480	-1.511	-0.807
2021		-1.692	-0.591	-1.591	-0.628	-2.242	-1.588

For example, if we analyze relative indicators of property status and efficiency of property use, the component remains to be rather negative (Table1).

Fixed assets operability ratio (Rfao). According to Table 1, the indicator is within the optimal range (over 0.5), showing the overall satisfactory condition of fixed assets of gas distribution companies. For example, AT 'Hemlnytskhaz' had the highest coefficient in 2019 (0.621), although it decreases annually.

Fixed assets depreciation ratio (Rfad). The coefficient is in inverse proportion to the fixed assets operability ratio. The calculations show that the situation is the best for AT 'Hemlnytskhaz' (0.379).

Mobility rate (Rmob). The coefficient is rather high for AT 'Lvivhaz' against other oblast gas companies. Meanwhile, it remains low for AT 'Ivano-Frankivskhaz' (0.279).

Capital and current assets ratio (Rcca) is about the same for all oblast gas companies, yet, it is characterized by instability.

Capital productivity (CapProd). As it was already mentioned in the methodology, the best situation in terms of capital productivity among the gas distribution companies is for Lvivhaz, where the value of the indicator is6.046, meaning that each hryvnya invested in fixed assets brings over 6 UAH of output or provided services. Meanwhile, the performance in terms of using the property of AT 'Zakarpathaz' and AT 'Ternopilhaz' is quite low: the capital productivity coefficient is 1.122 and 1.111, respectively, showing the low quality of fixed assets management (fig. 1).

Capital intensity (CapInt). Regarding the capital intensity, AT 'Lvivhaz' (0.165), AT 'Chernivtsihaz' (0.175), and AT 'Rivnehaz (0.185)can be considered the leaders by this indicator. Meanwhile, AT 'Zakarpathaz' and AT 'Ivano-Frankivskhaz' faced the problem of high production assets expenditures per unit of output/provided services: 0.891 and 0.806.

Capital-labor ratio (Rcl). Assessing the level of labor equipment with production assets, it is worth emphasizing the following facts. AT 'Volynhaz' (301.379 UAH/employee) and AT 'Hmelnytskhaz' (281.372 UAH/employee) have leading positions by this component. AT 'Ternopilhaz' is ranked the last – 144.537 UAH/employee.

The relative indicators of a company's liquidity constitute the next group of integral index indicators (Table 2).

Current ratio (Rcurrent). The optimal limits of this indicator are only 0.7–1 (green color in the Table marks the optimal values and red color – negative values). As we can see, all gas distribution companies had problems with current liquidity last 2–3 years, so the possibility for a gas distribution company to cover its liabilities by promptly available liquid assets is very low.

Quick ratio (Rquick). The standard value of the indicator should be 1–3. In this case, the coefficient value is quite low and decreases annually, showing the lack of enough hryvnyas of current assets per each hryvnya of current liabilities.

Cash ratio (Rcash). The coefficient within 0.1–0.2 is considered the standard value of the indicator. Unfortunately, none of the gas distribution companies adheres to the specified value, so we can assume that none of the companies under research is capable to cover debts on time in case of an urgent need. Changing of the cash ratio (Rcash) in years 2017–2021 is presented in fig. 2.

The third group of indicators includes the relative indicators of a company's profitability (Table 3). The situation for the gas distribution companies is negative because their activity

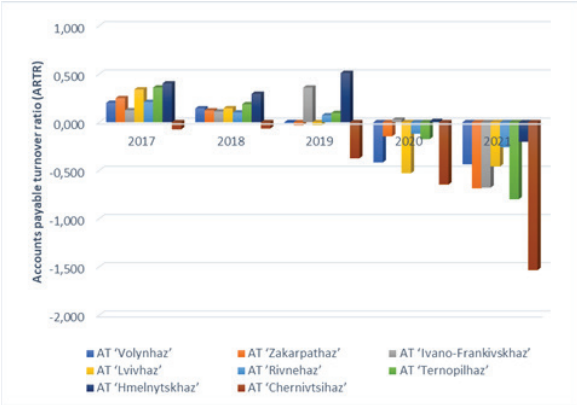


Fig. 5. Debt-to-equity ratio in years 2017–2021

Rys. 5. Wskaźnik zadłużenia do kapitału własnego w latach 2017-2021

remains lossmaking. Therefore, the return on equity and equity payback period remains to be with a negative sign. The changing of the capital payback period in years 2017 -2017 is presented in fig. 3.

Relative indicators of business activity. General indicators of this group are outlined in Table 4.

The changing of the accounts payable turnover ratio (ARTR) in years 2017 – 2021 is presented in fig. 4.

For example, the received data shows that AT 'Chernivtsihaz' (3.121) remained in 2021 the most competitive by the total asset turnover ratio. Although the value of the coefficient declined by over 1.7 points compared to 2020. Meanwhile, Ternopilhaz or Zakarpathaz are ranked the last: the coefficient value is 0.596 and 0.351, respectively.

The equity turnover ratio for the companies under research is of negative nature due to operating losses of the gas distribution companies. The trend has been observed lately.

The current assets turnover ratio shows the maximum number of current assets turnovers in a certain period and the maximum revenues per 1 hryvnya of current assets for such gas distribution companies as AT 'Hmelnytskhaz', AT 'Rivnehaz', and AT 'Chernivtsihaz'. The coefficient values are3.481, 3.762, and 9.035, respectively. Meanwhile, the value of the coefficient for Zakarpathaz in 2021 was very low – 0.535, and a received hryvnya of revenues didn't cover the hryvnya of current resources [43, 44].

The receivables turnover ratio was the highest in the period under research for Chernivtsihaz – 10.942 in 2021. The economic interpretation of this indicator is the following: revenues exceed the receivables 10.9 times. It indicates the facts of sales with the possibility of deferred payment by the cost of agreements and deadlines as well as improving payment discipline for the company. If we consider other gas distribution companies, for example, the value of the indicator for Zakarpathaz is much lower – 0.558, and revenues do not cover the receivables almost twice.

Analyzing the accounts payable turnover ratio, we can agree that the indicator is not stable for the gas distribution companies. For example, we can trace the negative trend for 2020–2021. It shows the deteriorating fulfillment of payment obligations in the process of interaction with budget organizations, creditors, and suppliers or declining purchases with deferred payment [45, 46].

Relative indicators of financial resilience. This group of coefficients estimates the dependence of a company's financial risks on borrowed capital.

Therefore, the calculations indicate quite an ambiguous situation for the gas distribution companies because the companies under research are lossmaking. Meanwhile, the situation regarding the indicators under research remained almost unchanged for each gas distribution company. Changing the debt-to-equity ratio in years 2017–2021 is presented in fig. 5.

The changing the debt-to-equity ratio in years 2017–2021 is presented in fig. 6.

Changing the average number of regular employees to number of CSCs ratio in years 2017–2021 in fig. 7.

Having considered the calculated indicators of the positions of regional gas distribution system operators functioning on the Western regional natural gas market, we can see that AT 'Ternopilhaz' is in the last position. It is especially obvious by the number of households applying for subsidies to buy liquefied gas and solid and liquid household fuel, those with assigned subsidies, and those having received subsidies. Indicators of CSCs performance constitute the last group of indicators (Tables 6,7).

The analysis of GDCWRU performance results shows that the activity of AT 'Ternopilhaz' remains quite inefficient against the other gas distribution companies of the Western Region.

Comparing AT 'Ternopilhaz' (no CSC network) with AT 'Chernivtsihaz'and AT 'Hmelnytskhaz', where the network is maximally branched, consists of 11 CSCs, and is consistently expanding, we can observe one of the main problems of such result – the lack of proper service position regarding the consumer sector that lies in the absence of CSCsin the structure of AT 'Ternopilhaz'. Thus, the population burden on the company is quite high (in the process of calculations we assumed that AT 'Ternopilhaz' had 1 CSC, which was the oblast gas company itself).

Therefore, the complex calculation of a broad range of indicators related to the activity of gas distribution companies operating in the Western Region of Ukraine and regional markets of distribution and consumption of natural gas as well as standardization of initially formed groups of indicators obtained in the process of the research bring about the following results (Table 8).

Tab. 6. Indicators of performance of the Customer Service Centers in the structure of regional gas distribution companies in 2017–2021. №1

Tab. 6. Wskaźniki efektywności Centrów Obsługi Klienta w strukturze regionalnych spółek dystrybucji gazu w latach 2017–2021. №1

Year	Regional gas distribution network operator	Resident population in the region to number of CSCs ratio, thousand persons/units	Households applying for subsidies to buy liquefied gas, solid or liquid household fuel to number of CSCs in the region ratio	Specific quantity of households with assigned subsidies to buy liquefied gas, solid or liquid household fuel to number of CSCs in the region ratio
2017	AT 'Volynhaz'	148.957	4100.000	3701.714
2018		148.714	6280.286	5975.286
2019		148.357	5157.143	4370.857
2020		147.900	5092.857	4112.857
2021		147.343	3585.857	2658.000
2017	AT 'Zakarpathaz'	314.075	5286.750	4373.750
2018		313.975	8477.250	6918.000
2019		313.825	8109.000	6878.250
2020		313.500	6105.500	5309.750
2021		312.750	4331.500	3867.500
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	229.967	3243.500	2482.667
2018		229.933	4210.667	3594.833
2019		229.533	4645.333	3885.500
2020		229.133	3679.500	3207.000
2021		228.417	2724.000	225.833
2017	AT 'Lvivhaz'	503.520	2724.400	2526.200
2018		503.131	4221.400	3675.400
2019		502.248	4571.200	3966.200
2020		500.730	3795.000	3343.400
2021		498.743	2348.600	2174.400
2017	AT 'Rivnehaz'	193.350	6031.333	3217.667
2018		193.633	7432.667	6097.833
2019		193.617	5784.500	5322.333
2020		193.267	5549.000	4898.500
2021		192.700	3990.667	3459.500
2017	AT 'Ternopilhaz'	1062.500	14815.000	12906.000
2018		1055.900	19488.000	18947.000
2019		1049.100	18457.000	16667.000
2020		1042.600	21938.000	14510.000
2021		1035.400	11648.000	8697.000
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	117.673	2674.909	1988.364
2018		116.555	3657.273	3165.636
2019		115.564	3311.545	3030.364
2020		114.682	2937.091	2483.455
2021		113.773	1944.909	1649.182
2017	AT 'Chernivtsihaz'	302.267	8577.000	7147.667
2018		301.700	8337.667	9224.000
2019		301.200	10711.000	9872.333
2020		300.433	10392.000	7561.000
2021		299.533	6813.000	4906.333

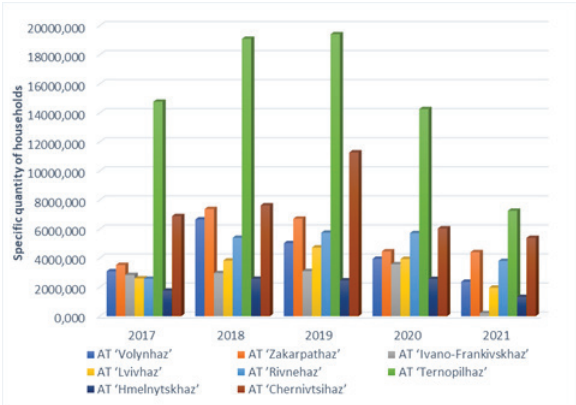


Fig. 7. Debt-to-equity ratio in years 2017–2021

Rys. 7. Wskaźnik zadłużenia do kapitału własnego w latach 2017–2021

Conclusion

Gas distribution refers to the process of delivering natural gas or other gases from the source (such as gas fields or liquefied natural gas terminals) to end-users, including residential, commercial, and industrial customers. The purpose of gas distribution is to provide a reliable and efficient supply of gas for various purposes, including heating, cooking, hot water production, industrial processes, and power generation.

Networks for gas distribution ensure a consistent supply of gas to meet the energy needs of residential, commercial, and industrial consumers. Natural gas is a versatile and widely used energy source due to its high calorific value and relatively low environmental impact compared to other fossil fuels. Gas distribution systems are designed and operated with safety as a top priority. The purpose is to ensure the safe and reliable delivery of gas to end-users. This involves monitoring and maintaining the integrity of pipelines, implementing safety measures, conducting regular inspections, and responding quickly to gas leaks or emergencies. The purpose is to extend gas access to previously underserved regions, support economic growth, and provide an alternative to other energy sources. Expanding gas distribution networks can help promote the use of cleaner energy sources and support the transition to a more sustainable energy mix.

Gas distribution networks support economic development by enabling the use of gas for various industrial applications, power generation, and heating needs. Access to natural gas can attract businesses and industries that rely on affordable and reliable energy sources, thus driving economic growth and job creation. Overall, the purpose of gas distribution is to deliver a clean, reliable, and affordable energy

Tab. 7. Indicators of performance of the Customer Service Centers in the structure of regional gas distribution companies in 2017–2021. №2

Tab. 7. Wskaźniki efektywności Centrów Obsługi Klienta w strukturze regionalnych spółek dystrybucji gazu w latach 2017–2021. №2

Year	Regional gas distribution network operator	Average number of regular employees to number of CSCs ratio, thousand persons/units	Material inputs to number of CSCs ratio, thousand UAH/units	Return on assets across CSCs	Return on equity across CSCs
2017	AT 'Volynhaz'	203.000	76947.571	-0.022	-12.955
2018		172.286	225634.857	0.000	-0.050
2019		176.429	245094.143	-0.019	0.128
2020		176.143	254630.429	-0.041	0.082
2021		176.143	211282.857	-0.019	0.028
2017	AT 'Zakarpathaz'	342.250	73589.750	-0.050	-0.301
2018		305.250	44982.750	-0.009	-0.037
2019		305.250	57048.750	-0.001	0.005
2020		276.000	128027.000	-0.114	0.401
2021		251.250	117751.250	-0.167	0.178
2017	AT 'Ivano-Frankivskhaz'	586.833	49644.333	-0.021	-0.205
2018		586.833	37894.000	0.000	0.005
2019		586.833	46131.167	-0.005	-0.026
2020		388.667	63265.667	-0.068	0.484
2021		378.333	75694.333	-0.105	0.140
2017	AT 'Lvivhaz'	825.200	75665.000	-0.020	-0.085
2018		687.200	107768.400	-0.005	-0.051
2019		682.000	976147.200	0.033	-0.492
2020		648.800	980117.000	-0.087	0.165
2021		670.800	1049888.400	-0.044	0.068
2017	AT 'Rivnehaz'	266.333	149677.000	-0.019	-0.170
2018		242.333	281739.333	-0.001	-0.027
2019		236.833	316935.500	-0.006	-0.499
2020		219.000	322492.000	-0.042	0.184
2021		212.500	254508.000	-0.035	0.075
2017	AT 'Ternopilhaz'	1588.000	127106.000	-0.113	-0.331
2018		1354.000	247760.000	-0.126	-0.794
2019		1288.000	167115.000	-0.053	-0.495
20290		1280.000	203034.000	-0.402	2.446
2021		1288.000	188831.000	-0.734	0.803
2017	AT 'Hmelnytskhaz'	208.818	109483.818	-0.003	-0.007
2018		167.000	206477.364	0.000	-0.004
2019		170.000	227653.091	-0.019	-0.061
2020		167.182	228813.545	-0.022	0.127
2021		177.273	186376.000	-0.020	0.049
2017	AT 'Chernivtsihaz'	411.667	273575.000	-0.074	0.457
2018		376.000	497107.000	-0.010	0.077
2019		373.667	572628.667	0.164	-0.374
2020		373.667	613414.000	0.320	-0.347
2021		336.667	536946.667	-0.318	0.188

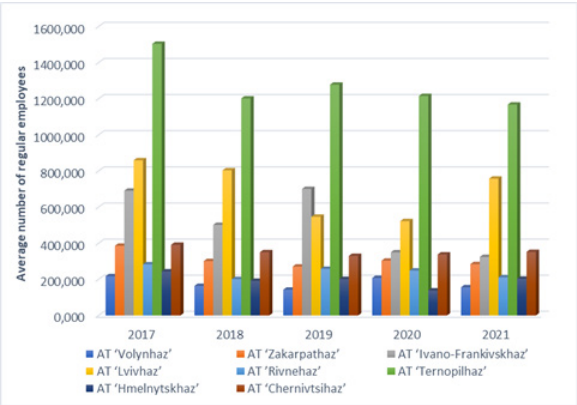


Fig. 7. Average number of regular employees to number of CSCs ratio in years 2017–2021

Rys. 7. Średni stosunek liczby pracowników etatowych do liczby POK w latach 2017–2021

source to consumers while ensuring safety, reliability, and environmental sustainability. Additionally, gas distribution companies require proper management based on various economic, efficiency and clearly business indicators, as shown in this publication.

Having analyzed the data (the results of the research) in Table 7, the following conclusions can be made:

The positions of the gas distribution companies in the Western Region of Ukraine change each year, in our opinion, due to different values of their general performance indicators, low innovative activity, national natural gas distribution market condition, regional features of the gas distribution companies' functioning, number of regional actors on the regional natural gas distribution market, regional tariffs at a certain moment in time, level of pressure of financial activity control authorities.

AT 'Zakarpathaz' can be considered the most competitive in the last two years as it held the first position in 2020 and 2021.

The activity of Ternopilhaz remains challenging. It has severely deteriorated its positions starting since 2017. In our opinion, the causes can be the following: the lack of innovative solutions in the company's activity, showing itself in outdated approaches to professional activity on regional natural gas distribution market, lack of initiatives offered by the company's management to organize and further expand the Customer Service Center network in the structure of the company that would substantially facilitate the process of natural gas distribution service consumption for customers and intensify the growth of innovative activities and approaches.

Tab. 8. Integral value and rating indicator of the gas distribution companies' performance in the Western Region of Ukraine

Tab. 8. Integralna wartość i wskaźnik oceny wyników spółek dystrybucji gazu w zachodnim regionie Ukrainy

Years	2017		2018		2019		2020		2021	
	Integral value	Rating indicator	Integral value	Rating indicator	Integral value	Rating indicator	Integral value	Rating indicator	Integral value	Rating indicator
AT 'Volynhaz'	0,007	7	0,018	2-3	0,019	1-3	0,02	2	0,017	4
AT 'Rivnehaz'	0,009	5-6	0,017	4	0,019	1-3	0,019	3-5	0,015	8
AT 'Ivano-Frankivskhaz	0,014	2	0,012	7	0,014	8	0,017	7-8	0,02	2
AT 'Ternopilhaz'	0,012	3	0,021	1	0,015	7	0,018	6	0,016	5-7
AT 'Lvivhaz'	0,001	8	0,002	8	0,017	5	0,017	7-8	0,018	3
AT 'Zakarpathaz'	0,017	1	0,014	6	0,016	6	0,025	1	0,023	1
AT 'Hmelnytskhaz'	0,01	4	0,018	2-3	0,019	1-3	0,019	3-5	0,016	5-7
AT 'Chernivtsihaz'	0,009	5-6	0,015	5	0,018	4	0,019	3-5	0,016	5-7

Acknowledgements

Paper was presented during the 8th POL – VIET International Conference Scientific-Research Cooperation between Vietnam and Poland, 2023, AGH University, Krakow, Poland. This publication and research was funded from subvention for the maintenance and development of research potential granted to AGH University, Management Faculty, Kraków, Poland.

Literatura – References

1. Pavlov K., Pavlova O., Korotia M. et al. Determination and Management of Gas Distribution Companies' Competitive Positions. In: Mrugalska B., Trzcielinski S., Karwowski W., Di Nicolantonio M., Rossi E. (eds) Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1216. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0_38. (2020)
2. Linchevska N. M. Formation of organizational and economic management mechanism of innovation and investment processes in gas transportation enterprises : thesis … PhD in economics : 08.00.04. Ivano-Frankivsk. 301 p. (2015).
3. Hrubyak S.V. Investigation of ways to improve the efficiency of gas transport companies. Economy and society. № 18. P. 342. (2018).
4. Pavlova, O., Pavlov, K., Horal, L., Novosad, O., Korol, S., Perevozova, I., Obelnytska, K., Daliak, N., Protsyshyn, O & Popadynet, N.. Integral estimation of the competitiveness level of the western Ukrainian gas distribution companies. Accounting, 7(5), 1073-1084. DOI: 10.5267/j.ac.2021.3.001. (2021)
5. Pavlov, K., Pavlova, O., Kotsko, T., Novosad, O., Matiychuk, L., Tomashevska, A., Shabala, O., Pylypiv, N.. Function in gefficiency of the electricity market of the western region of Ukraine. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 26(2), 47-64. https://doi.org/10.33223/epj/163195(2023)
6. Pavlov, K., Pavlova, O. et al. Economic Diagnostics and Management of Eco-Innovations: Conceptual Model of Taxonomic Analysis. In: Russo D., Ahram T., Karwowski W., Di Bucchianico G., Taiar R. (eds) Intelligent Human Systems Integration 2021. IHSI 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1322. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68017-6_84. (2021)
7. Sala, D., Pavlov, K., Pavlova, O., Demchuk, A., Matiichuk, L., & Cichoń, D. Determining of the Bankrupt Contingency as the Level Estimation Method of Western Ukraine Gas Distribution Enterprises' Competence Capacity. Energies, 16(4), 1642. https://doi.org/10.3390/en16041642. (2023).
8. Sala, D.; Bashynska, I.; Pavlova, O.; Pavlov, K.; Chorna, N.; Chornyi, R. Investment and Innovation Activity of Renewable Energy Sourcesin the Electric Power Industry in the South-Eastern Region of Ukraine. Energies, 16, 2363. https://doi.org/10.3390/en16052363. (2023).
9. Shandrivska O. J. Management of the gas-transportation companies on the basis of marketing and logistics : thesis … PhD in economics : 08.06.02. Lviv, (2002).
10. Horal L. T., Korol S.V. Guidelines for the development of gas-distributing enterprises of Ukraine. Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics". Mukachevo, 2016. Issue 1. P. 120-124. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvmdue_2016_1_21 (accessed: 21.09.2022). – Title from the screen.
11. Dzyoba O. H. Managing the transformations and development of the gas supply system : monograph. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 352 p. (2012).
12. Dychkovskyi R. O., Avdiushchenko A. S., Falshtynskyi V. S., Saik P.B. On the issue of estimation of the coal mine extraction area economic efficiency : Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 4, 107–114 p. (2004).
13. Marshall A. Principles of Economics. In 3 volumes. Vol.1. M.: Progress, - 239 p. (1993).
14. Hayday T. V. Evolution of methodological foundations of institutionalism paradigm : thesis … PhD in economics : 08.00.01. Taras Shevchenko National University of Kyiv. Kyiv, 43 p. (2013).
15. Matiko F. D. Methodological principles of determination of volume of natural gas losses and minimization its imbalances in gas transmission and distribution systems. : thesis … PhD in economics : 05.11.01. Lviv, 43 p. (2015).

16. Regions of Ukraine: problems and priorities of socio-economic development : monograph. Edited by Z. S. Varnaliy. Kyiv : ZnannyaUkrayiny, 498 p. (2005).

17. Romashko O. M. Formation of the organizational and economic mechanism for diversification of activities of gas transmission companies : thesis … PhD in economics : 08.00.04. Ivano-Frankivsk, 20 p. (2017).

18. Vladyko O., Maltsev D., Sala D., Cichoń D., Buketov V., & Dychkovskyi R. (2022). Simulation of leaching processes of polymetallic ores using the similarity theorem : Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik, 37(5), 169–180. https://doi.org/10.17794/rgn.2022.5.14. (2022).

19. Sala D., Bieda, B. Application of uncertainty analysis based on Monte Carlo (MC) simulation for life cycle inventory (LCI) : InżynieriaMineralna, 2(2). https://doi.org/10.29227/im-2019-02-80 (2022).

20. Dychkovskyi R. O. Forming the bilayer artificially created shell of georeactor in underground coal well gasification : Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 5, 37–42 p. (2015)

21. Kurbatova, T.; Sotnyk, I.; Prokopenko, O.; Bashynska, I.; Pysmenna, U. Improving the Feed-in Tariff Policy for Renewable Energy Promotion in Ukraine's Households. Energies 2023, 16, 6773. https://doi.org/10.3390/en1619677

22. Shavarskyi I., Falshtynskyi V., Dychkovskyi R., Akimov O., Sala D., Buketov V. Management of the longwall face advance on the stress-strain state of rock mass : Mining of Mineral Deposits, 16(3), 78–85. https://doi.org/10.33271/mining16.03.078 (2022).

23. Bashynska I., Mukhamejanuly S., Malynovska Y., Bortnikova M., Saiensus M., Malynovskyy, Y. Assessing the Outcomes of Digital Transformation Smartization Projects in Industrial Enterprises: A Model for Enabling Sustainability. Sustainability 2023, 15, 14075. https://doi.org/10.3390/su151914075

24. Savko O. Y. Analytics of trends of gas distribution companies' financial condition. Economic Development Strategy. № 33. C. 158. (2013).

25. Bashynska, I., Smokvina, G., Yaremko, L., Lemko, Y., Ovcharenko, T., Zhang, S. (2022). Assessment of investment and innovation image of the regions of Ukraine in terms of sustainable transformations. Acta Innovations, 43, pp. 63-77. https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.43.6

26. Polyanska A., Savchuk S., Dudek M., Sala D., Pazynich Y., Cichoń, D. Impact of digital maturity on sustainable development effects in energy sector in the condition of Industry 4.0. : Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 6, 97–103. https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/097 (2022).

27. AT 'National Joint-Stock Company 'NaftohazUkrayiny" Official Website. URL: http://www.naftogaz.com (accessed: 05.09.2022). – Title from the screen.

28. Gas markets of the EU and Ukraine: problems of development and integration. National business and defence. № 8. P. 2–32. (2008).

29. Location of the customer service centers. URL: https://104.ua/ua/gas-and-money/id/de-znahodjatsja-centri-obslugovuvannja-klijentiv-r-36416 (published: 22.11.2019. – accessed: 21.09.2022). – Title from the screen.

30. Goral L. Analysis of macro functioning gas transmission companies in the context of the use of their potential. Socio-Economic Problems of the Modern Period of Ukraine. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Regional Research. Lviv, Issue 1. P. 122-126. (2015).

31. Lisnichuk O.A., Vinogradova Ye.V. Models of estimation of bankruptcy probability as a method of evaluation financial potential of the enterprise. International Humanitarian University Herald. Series : Economics and Management. Odesa, Issue 33. P.111-116. (2018).

32. Mykytyuk P. P. Innovative management : handbook. Kyiv :TsUL, 400 p. (2007).

33. Kobyletskyi V. R. Capital productivity coefficient. «Financial Analysis online» : Internet resource. URL: https://www.finalon.com/slovnik-ekonomichnikh-pokaznikiv/345-pokaznik-fondoviddachi (accessed: 07.09.2022). – Title from the screen.

34. Savko O. Y. Analytics of trends of gas distribution companies' financial condition. Economic Development Strategy. № 33. C. 158. (2013).

35. Strishenets O. M., Pavlov K.V. The mechanism of monetary maintenance of energy efficiency activities at housing and apartment building co-owner association facilities. Climate finance : multi-author monograph / edited by doctor in economics, professor Karlin M .I. Lutsk,. P. 158-181. (2017).

36. Lebega O. V. Organizational and economic mechanism of development of natural gas resources from shale breeds : thesis … PhD in economics : 08.00.06. Kyiv, 19 p. (2018).

37. State Statistical Service of Ukraine. Governmental website. Kyiv, 1999-2021. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/ (accessed: 19.09.2022). – Title from the screen.

38. Where the natural gas comes from and is supplied to consumers. URL: http://104.ua/ua/gas/id/zvidki-prirod-nij-gaz-beretsja-i-jak-dostavljajetsj-12269

39. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine.: official website. URL: https://menr.gov.ua (accessed: 02.09.2022) – Title from the screen

40. Ministry of Infrastructure of Ukraine (MIU).: official website. URL: https://mtu.gov.ua/ (accessed: 19.04.2022) – Title from the screen.

41. Website for natural gas consumers. URL: https://104.ua/ua/ (accessed: 21.09.2022). – Title from the screen.

42. Dychkovskyi R., Falshtynskyi V., Ruskykh V., Cabana E., Kosobokov O. A modern vision of simulation modelling in mining and near mining activity : E3S Web of Conferences, 60, 00014. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000014 (2018).

43. AT 'Ukrtranshaz' has finalized the subsequent stage of GTS Operator cut off. Ukrtranshaz. Kyiv, 2014–2022. URL: https://bit.ly/2m1MH6X (accessed: 05.09.2022).– Title from the screen.

44. Bezuhla V. O. Analysis of competitiveness of Ukrainian regions. Regional economy. № 4. P. 64-68. (2004).

45. Bobrivets S. V. Mechanisms to improve the management efficiency at gas distribution companies : thesis for PhD in economics : 08.06.01. Lviv, 20 p. (2004).

46. Brych V. Regulation of Natural Monopolies enterprises in terms of cooperation between Ukraine and the European Energy Community. The Herald of Ternopil national economic university. Ternopil, Issue 3. P. 26-35. (2013).

Określenie poziomu efektywności przedsiębiorstw zajmujących się dystrybucją gazu w zachodnim obwodzie Ukrainy

W artykule dokonano analizy aktualnej sytuacji i procesów przemian strukturalnych w ukraińskim sektorze gazu ziemnego, szczególnie w jego zachodnim regionie. Ciągłe występowanie naruszeń równowagi rynkowej pomiędzy podażą i popytem spowodowało konieczność przeprowadzenia reform w sektorze gazowym Ukrainy i jej regionów. Z punktu widzenia bezwarunkowego znaczenia przedsiębiorstw dystrybucji gazu w kształtowaniu struktury i funkcjonowaniu sektora gazowego państwa, znaczenie prawidłowego funkcjonowania sieci dystrybucyjnych gazu ziemnego wśród odbiorców w dobie wojny oraz kryzysów polityczno-gospodarczych pozwoli na zmniejszenie poziom potencjalnych zagrożeń, a także zapewnić integralność zliberalizowanego systemu dystrybucji gazu ziemnego jako całości. Metody zastosowane w procesie analizy poziomu efektywności regionalnych systemów dystrybucji gazu obejmują metodologię ocen eksperckich, co pozwoliło na uogólnioną ocenę oczekiwanych wyników, przyczyniło się do ujednolicenia istniejących podejść, odzwierciedlających poziom ekonomii i rynku efektywność, działalność innowacyjna i stabilność finansowa przedsiębiorstw zajmujących się dystrybucją gazu. W trakcie badania udało się określić poziom zapotrzebowania na kompleksowe działania, obejmujące szereg działań – analizę otoczenia instytucjonalnego zachodnio ukraińskiego rynku dystrybucji gazu ziemnego, w skład którego wchodzą następujące spółki akcyjne: „Wołyńhaz", „Również" , „Iwano-Frankiwsk", „Ternopolhaz", „Lwówhaz", „Zakarpacie", „Hemlnytschaz", „Czerniowce". W wyniku badania stwierdzono, że poziom dostaw z zachodnio ukraińskich spółek zajmujących się dystrybucją gazu regularnie się zmienia; Spółkę Akcyjną „Zakarpacie" można uznać za najbardziej perspektywiczną i konkurencyjną; jednocześnie Spółka Akcyjna „Ternopilhaz" charakteryzuje się najniższym poziomem swojej aktywności zawodowej.

Słowa kluczowe: *dystrybucja gazu, zarządzanie przedsiębiorstwami zajmującymi się dystrybucją gazu, ekonomiczno-biznesowe wskaźniki efektywności, efektywność dystrybucji, zachodnia Ukraina*

Możliwość wykorzystania w technologiach górniczych niebezpiecznych odpadów wtórnych z termicznego przekształcania odpadów komunalnych

Wacław ANDRUSIKIEWICZ[1)]

[1)] dr hab. inż., prof. AGH; Department of Mining Engineering & Occupational Safety, Faculty of Civil Engineering and Resource Management, AGH University of Krakow; email: andus@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0002-4845-1404

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-65

Submission date: 21-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstrakt

Problem związany z ciągłym wzrostem ilości wytwarzanych odpadów komunalnych wymaga podjęcia zdecydowanych działań zarówno u źródła (edukacja „producentów" odpadów) jak i związanych ze sposobem ich utylizacji. Jednym ze sposobów jest przekształcenie termiczne odpadów. Działanie to nie rozwiązuje całkowicie problemu, gdyż w efekcie procesu termicznego powstają odpady wtórne. Pozwala to jednak na znaczne ograniczenie pierwotnej masy odpadów o ok. 60–70% i objętości o ok. 80–95%. Od strony fizycznej odpady wtórne stanowią żużle, popioły i pyły, a te – zgodnie z obowiązującą klasyfikacją – w części zaliczane są do odpadów niebezpiecznych.

W artykule przedstawiono koncepcję ich wykorzystania w technologiach górniczych związanych z wypełnianiem pustek podziemnych. W tym celu należy wyselekcjonowane odpady poddać badaniom pod kątem możliwości ich wykorzystania w instalacjach odzysku odpadów.

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań parametrów fizycznych wybranych odpadów, a także badań chemicznych związanych z ustaleniem ich składu. Wskazano kierunek dalszych badań parametrów „technologicznych", których znajomość będzie niezbędna na potrzeby zaprojektowania przyszłej instalacji odzysku odpadów.

Słowa kluczowe: *odpady komunalne, odpady wtórne, badania odpadów, odzysk odpadów*

Wstęp

Problem powstawania odpadów jest nierozerwalnym elementem towarzyszącym rozwojowi cywilizacji. Na przestrzeni setek, a nawet tysięcy lat, problem ten był marginalizowany. Dopiero rozwój zorganizowanych osad ludzkich spowodował, że – mówiąc dzisiejszym językiem – zaczęto wdrażać procedury związane z gospodarką odpadami. Początkowo ograniczało się to do gromadzenia odpadów w pewnej odległości od osad ludzkich, jednak powstawanie zabudowy w postaci form miejskich spowodowało, że pierwsze regulacje prawne związane z zachowaniem czystości w obrębie miast pojawiły się jeszcze w średniowieczu.

Dziś, w dobie dynamicznego rozwoju gospodarczego świata, problem gospodarki odpadami stał się problemem globalnym. Nie ma na świecie państwa, które w tym zakresie nie wprowadziło regulacji prawnych. Oczywiście nie są one identyczne we wszystkich krajach, jednak można zauważyć, że im bardziej rozwinięte gospodarczo państwo, tym przepisy dotyczące odpadów są bardziej restrykcyjne, a generalnie sprowadzają się do wskazywania kierunków zagospodarowania bądź utylizacji odpadów. Jest to wprost konsekwencją tegoż rozwoju. Skomplikowane procesy technologiczne pozwalają na uzyskanie zaawansowanych dóbr materialnych, ale też skutkują coraz trudniejszymi do utylizacji odpadami pochodzącymi z tych procesów. W efekcie dzisiejsza cywilizacja wytwarza całą gamę odpadów, od najprostszych po wyjątkowo skomplikowane. I właśnie stopień skomplikowania odpadów będzie wytyczał kierunki postępowania z nimi.

Polskie prawo dzieli odpady na 20 podstawowych grup [5]. Ostatnią, 20. grupę odpadów stanowią odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie. Odpady, określane mianem komunalnych, to właśnie te, które towarzyszą człowiekowi „od zawsze". Grupa 20. w ustawie [5] definiowana jest jako odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że problem z zagospodarowaniem odpadów komunalnych szczególnie nabrzmiał w okresie rewolucji przemysłowej. Gwałtowny rozwój przemysłu i związana z tym duża migracja ludzi do miast stały się przyczyną poszukiwania nowych rozwiązań problemu utylizacji odpadów komunalnych. Efektem było uruchomienie w latach 70. XIX w. w Nottingham pierwszej na świecie spalarni odpadów. Dziś na świecie funkcjonuje ok. 2 tys. spalarni odpadów komunalnych, z czego tylko w Japonii ok. 1200, ok. 500 w Europie, w tym 8 w Polsce [7].

Źródło powstawania odpadów wtórnych

Spalanie odpadów komunalnych zmieszanych (a więc tych, które nie podlegały zbiórce selektywnej) określane terminem termicznego przekształcania odpadów, może być uznane w świetle polskiego prawa [5] jako proces unieszkodliwiania odpadów, jeżeli nie towarzyszy temu odzyskanie energii. Z kolei w procesie odzysku następuje przekształcenie termiczne z odzyskiem energii. W 2022 r. w Polsce w procesie odzysku przekształcono termicznie 2,7 mln. Mg odpadów, natomiast w procesie unieszkodliwienia 0,1 mln Mg odpadów [5].

W procesie termicznym odpad pierwotny (tzw. wsad), będący de facto mieszaniną odpadów komunalnych o zróżni-

Tab. 1. Masa odpadów komunalnych poddanych procesowi termicznego przekształcania oraz orientacyjna masa uzyskanych odpadów wtórnych. Źródło: opracowanie własne na podst. [2]

Tab. 1. Mass of municipal waste subjected to thermal transformation and approximate mass of secondary waste obtained. Source: own elaboration based on [2]

Rok	Łączna masa zebranych odpadów komunalnych	Masa odpadów komunalnych przekształconych termicznie (odpady pierwotne)		Orientacyjna masa uzyskanych odpadów wtórnych *)
	tys. Mg	tys. Mg	%	tys. Mg
2013	9 474	766	8,1	268
2014	10 330	1 560	15,1	546
2015	10 864	1 439	13,2	504
2016	11 654	2 266	19,4	793
2017	11 969	2 922	24,4	1 023
2018	12 485	3 018	24,2	1 056
2019	12 753	2 921	22,9	1 022
2020	13 117	2 822	21,5	988
2021	13 674	2 873	21,0	1 006
2022	13 420	2 854	21,3	999

*) nie obejmuje użytych sorbentów (np. węgla aktywnego) z procesu oczyszczania spalin

Tab. 2. Przykładowy bilans masy odpadów wtórnych powstających w spalarni odpadów komunalnych. Źródło: opracowanie własne na podst. [3]

Tab. 2. Example of mass balance of secondary waste generated in a municipal waste incineration plant. Source: own elaboration based on [3]

	Masa odpadów komunalnych 1000 kg					
Miejsce powstania produktów spalania	Komora spalania		Wymiennik ciepła	Układ odpylania	System oczyszczania spalin	Emisja do atmosfery
Rodzaj produktów spalania	Żużel	Popiół paleniskowy	Popiół lotny	Pył z odpylania	Produkty „suchego" oczyszczania spalin	-
Ilość produktów spalania	200–350 kg	20–40 kg		7–45 kg	32–80 kg	0,05 kg

cowanym składzie ulega przekształceniu. W wyniku tego procesu powstają nowe odpady, tzw. odpady wtórne. Znacznej redukcji ulega masa przetwarzanych w ten sposób odpadów – o ok. 60–70%, oraz ich objętość – o ok. 80–95% [1]. To z kolei przekłada się na znaczne ograniczenie ilości budowy nowych składowisk odpadów. W Tab. 1 zestawiono masy odpadów zebranych, przekształconych termicznie (odpady pierwotne) oraz uzyskanych odpadów wtórnych.

Analizując powyższe dane można stwierdzić, że ostatnie kilka lat to w miarę stabilna sytuacja, wynikająca wprost z ilości działających w Polsce instalacji i ich przepustowości. W najbliższych latach można się spodziewać oddania do użytkowania kolejnych instalacji, w związku z czym niewątpliwie zmieni się wolumen odpadów pierwotnych przekształcanych termicznie, a co za tym idzie, także wzrośnie wolumen odpadów wtórnych.

Odpady wtórne to stała pozostałość spalania w postaci żużli, popiołów paleniskowych oraz popiołów lotnych. Ich rodzaj oraz ilość w głównej mierze zależy od struktury spalanych odpadów komunalnych, charakteryzuje się pewną zmiennością w czasie – sezonowością, co jest związane z porami roku, w których powstają. Wpływ ma także technologia spalania oraz oczyszczania spalin.

Poniżej w Tab. 2 przedstawiono przykładowy bilans masy odpadów wtórnych powstających w spalarni odpadów komunalnych. Podane wielkości należy traktować jako orientacyjne.

Oprócz produktów spalania opisanych w Tab. 2 występują również jako odpady wszelkiego rodzaju sorbenty wykorzystane w procesie oczyszczania spalin, albo w postaci ciał stałych (np. węgiel aktywny w przypadku metody „suchej") bądź szlamów (w przypadku technologii „mokrej" lub „półsuchej"). Wysuszone szlamy określane są jako tzw. placki filtracyjne.

Każdy produkt spalania (odpad wtórny) podlega zaklasyfikowaniu do właściwej grupy odpadów zgodnie z katalogiem odpadów [4]. Klasyfikację tę w odniesieniu do odpadów zidentyfikowanych w Tab. 2 przedstawiono w Tab. 3.

Jak widać w Tab. 3, część odpadów jest kwalifikowana jako niebezpieczne z uwagi na zawartość w nich związków niebezpiecznych. W zdecydowanej większości żużle i popioły paleniskowe nie są kwalifikowane jako odpady niebezpieczne, dzięki czemu mogą być wykorzystane gospodarczo np. Niemniej jednak przed skierowaniem ich do ponownego wykorzystania poddaje się je wstępnej obróbce, której celem jest separacja frakcji metalicznej. Po kilkumiesięcznym sezonowaniu materiał ten najczęściej wykorzystywany jest w budownictwie drogowym bądź do produkcji prefabrykatów budowlanych.

Problem stanowią żużle, popioły paleniskowe oraz odpady z oczyszczania gazów spalinowych (popioły lotne, pyły z oczyszczania gazów odlotowych), które zawierają znaczne ilości metali ciężkich oraz produkty niepełnego spalania (dioksyny, bifenyle, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne itp.). Ponieważ są to odpady zaliczane do grupy odpadów niebezpiecznych, w większości krajów należących do UE odpady te kierowane są – po wcześniejszej dodatkowej obróbce (immobilizacji) – na specjalnie przygotowane powierzchniowe składowiska odpadów niebezpiecznych. Alternatywnym rozwiązaniem jest skierowanie odpadów do podziemnych składowisk odpadów niebezpiecznych lub wypełnianie nimi wyeksploatowanych wyrobisk podziemnych. W przypadku polskich spalarni ta grupa odpadów stanowi „tylko" ok. 4-5% całej masy uzyskiwanych odpadów wtórnych, jednak z uwagi na swoje niebezpieczne właściwości wymaga specjalnego traktowania.

Wstępne badania niebezpiecznych odpadów wtórnych pod kątem ich ewentualnego wykorzystania w procesie odzysku

W górnictwie podziemnym doskonale jest znana możliwość wykorzystania odpadów drobnofrakcyjnych na potrzeby

Tab. 3. Klasyfikacja produktów termicznego przekształcania odpadów komunalnych wg katalogu odpadów. Źródło: opracowanie własne na podst. [4]
Tab. 3. Classification of products for thermal processing of municipal waste according to the waste catalog. Source: own elaboration based on [4]

Nazwa odpadu wg Tab. aa	Kod odpadu	Grupy, podgrupy i rodzaje odpadów wg katalogu odpadów [4]
Żużel, popiół paleniskowy	19 01 11*	Żużle i popioły paleniskowe zawierające substancje niebezpieczne
	19 01 12	Żużle i popioły paleniskowe inne niż wymienione w 19 01 11
Popiół lotny	19 01 13*	Popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne
	19 01 14	Popioły lotne inne niż wymienione w 19 01 13
Pył z odpylania	19 01 15*	Pyły z kotłów zawierające substancje niebezpieczne
	19 01 16	Pyły z kotłów inne niż wymienione w 19 01 15
Produkty oczyszczania spalin	19 01 05*	Osady filtracyjne (np. placek filtracyjny) z oczyszczania gazów odlotowych
	19 01 06*	Szlamy i inne odpady uwodnione z oczyszczania gazów odlotowych
	19 01 07*	Odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych
Zużyte sorbenty (węgiel aktywny)	19 01 10*	Zużyty węgiel aktywny z oczyszczania gazów odlotowych

Odpady oznaczone * (gwiazdką) oznaczają odpady niebezpieczne

Tab. 4. Własności fizyczne badanych odpadów. Źródło: opracowanie własne
Tab. 4 . Physical properties of the tested waste. Source: own study

Wielkość		Jednostka	Rodzaj odpadu		
			19 01 07*	19 01 13*	19 01 15*
Gęstość	właściwa	Mg/m^3	2,30 – 2,55	2,60 – 2,85	2,70 – 2,79
	nasypowa	Mg/m^3	0,30 – 0,50	0,44 – 0,91	0,85 – 1,12
Straty suszenia 105 °C		%	0,04 – 1,14	0,03 – 0,56	0,02 – 0,21

Tab. 5. Skład chemiczny badanych odpadów. Źródło: opracowanie własne
Tab. 5. Chemical composition of the tested waste. Source: own study

Składnik	Jednostka	Rodzaj odpadu		
		19 01 07*	19 01 13*	19 01 15*
$CaSO_4$	% s.m.	6,16 – 14,13	9,82 – 23,82	10,11 – 28,54
$CaCO_3$	% s.m.	3,89 – 10,96	4,07 – 8,77	2,05 – 5,1
$CaCl_2$	% s.m.	11,31 – 14,87	n.o.	n.o.
CaO	% s.m.	16,7 – 36,7	13,8 – 20,8	11,9 – 16,1
NaCl	% s.m.	4,73 – 12,15	0,74 – 4,58	1,99 – 3,51
KCl	% s.m.	4,46 – 6,52	1,6 – 4,86	2,52 – 3,95
SiO_2	% s.m.	2,97 – 9,25	20,6 – 49,3	28,2 – 44,9
HCl - nierozp.	% s.m.	0,63 – 3,47	5,34 – 10,57	4,41 – 5,98
CaO wolny	%	14,44 – 26,2	1,4 – 4,09	1,18 – 2,75
Antymon	mg/kg s.m.	226 – 386	125 – 294	250 – 279
Arsen	mg/kg s.m.	6,8 – 16,4	5,74 – 8,71	8,57 – 11,8
Ołów	mg/kg s.m.	993 – 2250	121 – 571	408 – 637
Kadm	mg/kg s.m.	85 – 223	13,0 – 34,6	35,3 – 48,5
Kobalt	mg/kg s.m.	4,27 – 9,66	25,8 – 49,7	22,5 – 29,7
Miedź	mg/kg s.m.	293 – 523	301 – 425	271 – 533
Nikiel	mg/kg s.m.	12,8 – 28,6	53 – 244	45,4 – 67,5
Rtęć	mg/kg s.m.	6 – 24	n.o.	n.o.
Cynk	mg/kg s.m.	4600 – 11600	3580 – 6360	4580 – 7720
pH (eluat)		12,2 – 12,3	12,3 – 12,5	12,0 – 12,6

wypełniania pustek. Dotychczasowe doświadczenia pochodzą z kopalń węgla kamiennego, gdzie mieszaniny powstałe na bazie drobnofrakcyjnych odpadów pochodzących z procesów spalania węgla kamiennego wykorzystywane są głównie do wypełniania zrobów zawałowych. Działanie to ma z jednej strony skutek proekologiczny – zagospodarowanie odpadów pod ziemią a nie na powierzchni, z drugiej zaś poprawia bezpieczeństwo pracy w przypadku profilaktyki przeciwpożarowej czy też w przypadku zagrożenia gazowego.

Na podstawie wstępnie przeprowadzone selekcji podjęto decyzję, że nie wszystkie odpady „z gwiazdką" pokazane w Tab. 3 znajdą zastosowanie w przyszłej instalacji do odzysku odpadów. Z uwagi na zawartość wody nie brano pod uwagę osadów filtracyjnych (np. placek filtracyjny) z oczyszczania gazów odlotowych (19 01 05*) oraz szlamów i innych odpadów uwodnionych z oczyszczania gazów odlotowych (19 01 06*).

Zrezygnowano ze zużytego węgla aktywnego z oczyszczania gazów odlotowych (19 01 10*) z uwagi na jego własności:

- hydrofobowość (materiał trudno zwilżalny, „pływający" na powierzchni);
- duża zawartość węgla pierwiastkowego;
- łatwopalność;
- zmniejszanie gęstości mieszanin.

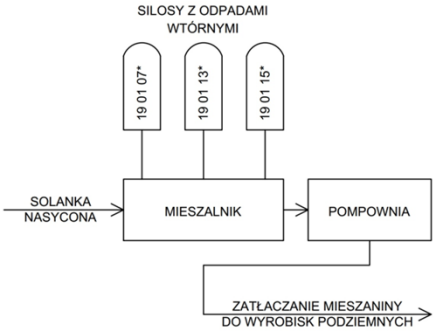
Zrezygnowano również z żużli i popiołów paleniskowych (19 01 11*), ponieważ te odpady wymagałyby wcześniejszej obróbki (mielenia), ale też z powodu możliwości ich wykorzystania w drogowych technologiach budowlanych.

Ostatecznie do dalszych badań zakwalifikowano:

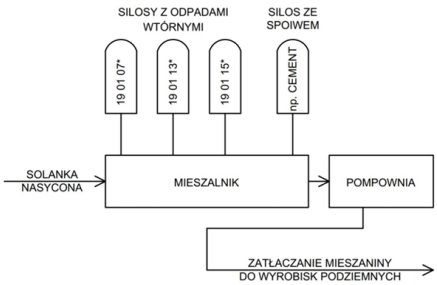
- odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych (19 01 07*);
- popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne (19 01 13*);
- pyły z kotłów zawierające substancje niebezpieczne (19 01 15*).

Badaniom własności fizycznych oraz składu chemicznego poddano odpady z wybranych instalacji termicznego przekształcania odpadów, w których poszczególne rodzaje odpadów były gromadzone w osobnych zbiornikach. Przypadki, w których gromadzono w jednym zbiorniku dwa rodzaje odpadów pominięto. Uzyskane wyniki zestawiono w Tab. 4 i 5.

Analiza danych z Tab. 5 pozwala na stwierdzenie, że badane odpady charakteryzują się niestabilnością składu chemicznego w sensie ilościowym. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że jest to konsekwencja zróżnicowania komponentów wsadowych (odpadów komunalnych przeznaczonych do ich termicznego przekształcenia), o czym już wcześniej wspomniano. W tej sytuacji wszelki próby określenia receptury wskazującej na proporcje udziału poszczególnych odpadów wtórnych w docelowej mieszaninie, którą



Rys. 1. Schemat ideowy sporządzania mieszaniny do wypełniania wyrobisk podziemnych. Źródło: opracowanie własne
Fig. 1. Schematic diagram of preparing a mixture for filling underground workings. Source: own study



Rys. 2. Schemat ideowy sporządzania mieszaniny do wypełniania wyrobisk podziemnych z uwzględnieniem spoiwa. Źródło: opracowanie własne
Fig. 2. Schematic diagram of preparing a mixture for filling underground workings, including the binder. Source: own study

miałyby być wypełniane pustki podziemne wydaje się być zadaniem karkołomnym, lub wręcz niemożliwym.

Koncepcja odzysku odpadów

W myśl obowiązującego prawa [5] poprzez odzysk odpadów rozumie się jakikolwiek proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym przypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub ogólnie w gospodarce. Z kolei pod pojęciem unieszkodliwiania odpadów rozumie się proces niebędący odzyskiem, nawet jeżeli wtórnym skutkiem takiego procesu jest odzysk substancji lub energii.

Jak widać, pojęcia odzysku i unieszkodliwiania wzajemnie się wykluczają, wobec czego nie można równocześnie prowadzić odzysku odpadów i ich unieszkodliwiania. Zamysł wykorzystania odpadów wtórnych z procesu spalania do wypełniania wyrobisk podziemnych w związku z tym będzie procesem odzysku odpadów. Tego typu procesy realizowane są w nieczynnych wyrobiskach kopalń soli m. in. w Niemczech, Austrii, Danii [6].

Wypełnianie pustek podziemnych (np. w postaci wyeksploatowanych komór solnych) przy wykorzystaniu odpadów wtórnych z instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych otwiera nowy rozdział badań. Wiadomo, że konieczne będzie opracowanie technologii oraz instalacji do odzysku odpadów. Równocześnie oczekuje się, że wypełnione odpowiednio dobraną mieszaniną wyrobiska komorowe będą miały w znacznym stopniu ograniczone możliwości konwergencji, co poprzez analogię z kopalń węgla kamiennego czy rud metali można przyrównać do utwardzonej podsadzki hydraulicznej.

Wybór kopalń soli jako miejsca do deponowania odpadów niebezpiecznych nie jest wyborem przypadkowym. Zgodnie z aktualną wiedzą jest to optymalne rozwiązanie dla tego typu działań. Wynika to ze specyfiki górotworu solnego, co również jest szeroko opisane w literaturze branżowej, zarówno polsko-, jak i obcojęzycznej. Niewątpliwymi zaletami górotworu solnego są m. in. jego właściwości reologiczne i związana z tym powolna konwergencja wyrobisk, jednorodność, szczelność, brak spękań, brak zaburzeń tektonicznych, czy brak zjawisk w postaci tąpań.

W warunkach polskich aktualnie istnieje możliwość wdrożenia procesu odzysku odpadów w Kopalni Soli „Kłodawa", w kawernach Inowrocławskich Kopalni Soli, a w przyszłości w złożu solnym w ZG „Polkowice-Sieroszowice". Wymaga to wcześniejszego przeprowadzenia odpowiednich badań, które będą miały na celu wskazanie odpowiednich receptur mieszanin odpadów wtórnych. Nie bez znaczenia jest forma takiej mieszaniny, która może przybierać postać od rzadkiej zawiesiny po formę pasty. Generalnie – w zależności od charakteru wypełnianych wyrobisk – chodzi o ograniczenie bądź całkowitą eliminację powstawania odcieków z mieszaniny wypełniającej. Podstawowym założeniem jest to, że bazą dla mającej powstać mieszaniny będzie solanka o nasyceniu NaCl co najmniej na poziomie 90%, co oznacza, że w każdym dcm3 roztworu będzie rozpuszczone co najmniej 290 g NaCl. Uzyskanie solanki o wskazanym nasyceniu będzie możliwe poprzez wykorzystanie odpadów solnych pochodzących z procesu przeróbki soli kamiennej. Działanie to jest niewątpliwie ukierunkowane na odzysk lub unieszkodliwienie odpadów solnych i jest niejako wartością dodaną w ramach omawianych procesów. Krok ten podyktowany jest tym, że docelowa mieszanina wypełniająca pustki poeksploatacyjne będzie miała bezpośredni kontakt z górotworem solnym. Ponieważ istnieje realne przypuszczenie, że zaprojektowana mieszanina wypełniająca może emitować pewne ilości tzw. cieczy nadosadowej (choć najbardziej pożądanym efektem byłby jej brak),

konieczne jest zabezpieczenie się przed efektem ługowania górotworu przez tę ciecz. W przypadku zastosowania wody słodkiej w składzie mieszaniny wypełniającej, proces ługowania górotworu byłby nieunikniony i trudny do kontroli.

Wstępną koncepcję wykorzystania badanych odpadów do wytwarzania mieszaniny wypełniającej przedstawiono na Rys. 1. Na tym etapie nie określa się proporcji poszczególnych odpadów w mieszaninie, jak również ilości solanki niezbędnej do jej wytworzenia.

Analiza wyników badań przestawionych w Tab. 5 pozwala na stwierdzenie, że z uwagi na niestabilność składu chemicznego poszczególnych grup odpadów uzyskanie mieszaniny samozestalającej się może być co najmniej trudne. W związku z tym należy liczyć się z koniecznością uzupełnienia receptury mieszaniny o składnik mający cechy spoiwa. Takim składnikiem może być np. cement bądź odpady poprodukcyjne z procesu produkcji cementu. Nie pozbawiona sensu wydaje się być też możliwość wykorzystania REA-gipsów, których duże ilości pozyskiwane są w procesach odsiarczania spalin. Wówczas schemat pokazany na Rys. 1 należy uzupełnić o dodatkowy składnik (spoiwo), co pokazano na Rys. 2.

Proponowany kierunek dalszych badań

Celem instalacji odzysku odpadów jest wypełnienie wskazanych pustek podziemnych mieszaniną sporządzona na bazie niebezpiecznych odpadów wtórnych oraz solanki, a w razie potrzeby uzupełnionej spoiwem. Od sporządzonej mieszaniny oczekuje się określonych cech fizycznych, które w pierwszej fazie pozwolą na jej hydrotransport do miejsc docelowych, a następnie ich zestalenia (związania), najlepiej bez odcieków. Należy się spodziewać, że wypełnione w ten sposób zbędne wyrobiska zachowają swoją stateczność poprzez istotne ograniczenie konwergencji, co w konsekwencji przełoży się na ochronę powierzchni w zasięgu oddziaływania tych wyrobisk.

Przygotowana mieszanina do wypełniania pustek podziemnych będzie przemieszczana w technologii hydrotransportu, tzn. rurociągami z wykorzystaniem układu pompowego. Aby było to możliwe, mieszanina musi mieć postać upłynnioną, ale z uwzględnieniem maksymalnego ograniczenia możliwości pojawienia się cieczy nadosadowej. W związku z tym przewiduje się, że mieszanina będzie miała postać pasty. Równocześnie należy mieć na uwadze fakt, że od mieszaniny będzie się wymagało pewnych właściwości wiążących, w związku z czym moment początku wiązania nie może nastąpić wcześniej, niż mieszanina znajdzie się w miejscu docelowym. W tym miejscu pojawia się wspomniany problem cieczy nadosadowej. Optymalnym rozwiązaniem jest sytuacja, w której cała ciecz zostanie wykorzystana w procesie wiązania i nie pojawi się jako ciecz nadosadowa. Z uwagi na efektywność wypełniania pustek podziemnych ważnym momentem jest czas zakończenia procesu wiązania. W tym momencie transportowana pasta staje się ciałem stałym, które będzie się charakteryzowało wytrzymałością na ściskanie, a to z kolei przekłada się na ściśliwość materiału wypełniającego pustkę. Jednak ten parametr (ściśliwość) byłby istotny, gdyby pustki podziemne były w 100% wypełnione mieszaniną. Szacuje się, że realne jest wypełnienie pustek w ok. 70–80%. Oczywiście mając na uwadze własności reologiczne górotworu solnego można się spodziewać, że w przyszłości dojdzie do pełnego zaciśnięcia pustki niewypełnionej mieszaniną, ale biorąc pod uwagę doświadczenia krajowego i światowego górnictwa solnego, procesy te można liczyć w setkach lat. Podsumowaniem może być badanie nasiąkliwości rozumianej jako zmiana wytrzymałości na ściskanie w wyniku działania wody/solanki w określonym czasie. Badanie to może wydawać się zbędne z punktu widzenia kopalni soli, gdyż nie przewiduje się, aby do wypełnionych pustek wdarła się woda czy solanka. Niemniej jednak należy założyć taki wariant jako potencjalnie katastrofalny.

Podsumowując można stwierdzić, że z punktu widzenia technologii oraz celu, któremu ma służyć odzysk niebezpiecznych odpadów wtórnych z instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych, należy przeprowadzić badania następujących parametrów:

- rozlewność;
- badanie własności reologicznych mieszaniny;
- określenie początku wiązania mieszaniny;
- określenie końca wiązania mieszaniny;
- wytrzymałość na ściskanie;
- ściśliwość;
- nasiąkliwość.

Podsumowanie

Można się spodziewać, że w najbliższych latach nastąpi wzrost ilości odpadów komunalnych poddawanych przekształceniu termicznemu w specjalnie dedykowanych instalacjach. W efekcie otrzymywane są kolejne odpady (wtórne), w tym niebezpieczne. Niewątpliwą zaletą ITPO jest znaczna redukcja masy i objętości tych odpadów w stosunku do tzw. wsadu, niemniej jednak pojawia się problem ich zagospodarowania. Problem stanowią grupy odpadów niebezpiecznych, które wymagają odpowiedniego postępowania. Istnieje możliwość stworzenia instalacji odzysku tych odpadów na potrzeby wypełniania pustek podziemnych w kopalniach soli.

W Polsce od kilku lat prowadzone są badania w tym kierunku, na razie w skali laboratoryjnej. Wstępne badania wykazały, że badane odpady od strony fizycznej są mniej więcej stabilne, natomiast od strony ich składu chemicznego dostrzega się duży rozrzut zawartości poszczególnych związków chemicznych i pierwiastków. Wynika to z dużego zróżnicowania przetwarzanych odpadów komunalnych, które stanowią trudną do przewidzenia niewiadomą. To z kolei uniemożliwia stworzenia jednoznacznej receptury odpowiedniej mieszaniny, która znalazłaby zastosowanie w instalacji odzysku odpadów.

Znając oczekiwania wobec przyszłej mieszaniny, koniecznym jest kontynuowanie badań, szczególnie pod kątem jej parametrów mechaniczno-wytrzymałosciowych. Zaproponowany program badań powinien dać odpowiedź, na ile zmienność składu chemicznego odpadów wtórnych ma wpływ na te parametry.

Literatura – References

1. Mokrosz W. Ekologiczne aspekty oczyszczania spalin ze spalarni odpadów komunalnych i przemysłowych. https://docplayer.pl/6677159-Ekologiczne-aspekty-oczyszczania-spalin-ze-spalarni-odpadow-komunalnych-i-przemyslowych.html.
2. Ochrona środowiska 2023. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa 2023.
3. Reference Document on BAT for Waste Incineration, EC 2006.
4. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów, Dz.U.2020.10.
5. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1587, 1597, 1688, 1852, 2029).
6. Vehlow J. et al. Management of Solid Residues In Waste-to-Energy and Biomass Systems. Forschungszentrum Karlsruhe (FZKA 7347). Karsruhe 2007.
7. Wielgosiński G. Termiczne przekształcanie odpadów. Wydawnictwo Nowa Energia. Racibórz 2020.

Possibility of Using Secondary Waste from Thermal Processing of Municipal Waste

The problem related to the continuous increase in the amount of municipal waste generated requires taking decisive actions both at the source (education of waste "producers") and related to the method of its disposal. One way is to thermally transform waste. This action does not completely solve the problem because the thermal process produces secondary waste. However, this allows for a significant reduction in the original weight of waste by approximately 60–70% and the volume by approximately 80–95%. From the physical side, secondary waste consists of slags, ashes and dust, and these – according to the current classification – are partly classified as hazardous waste. The article presents the concept of their use in mining technologies related to filling underground voids. For this purpose, selected waste should be tested for the possibility of its use in waste recovery installations. The paper presents preliminary results of testing the physical parameters of selected waste, as well as chemical tests related to determining their composition. A direction for further research on "technological" parameters was indicated, the knowledge of which will be necessary for the design of a future waste recovery installation.

Keywords: *municipal waste, secondary waste, waste testing, waste recovery*

Testing and Evaluation of Physical and Chemical Properties of Waste from Desanding

Monika CZOP[1], Agnieszka PETRYK[2], Luzia BALCERZAK[3], Agata JAMRY[4], Weronika KOPIEC[4], Katarzyna NOWAK[3], Marta PIWOWARCZYK[4], Weronika ZACKIEWICZ[4]

[1] Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Department of Technologies and Installations of Waste Management, monika.czop@polsl.pl; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5433-428X
[2] Cracow University of Economics, College of Public Economy and Administration, Department of Spatial Management, agnieszka.petryk@uek.krakow.pl; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4662-1964
[3] Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0020-3417
[4] student; Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-66

Submission date: 23-11-2023 | Review date: 30-11-2023

Abstract

The study concerns evaluating the physical and chemical properties of sand from sand separators of wastewater treatment plants in terms of requirements for construction aggregates. Thus, an analysis of the physical properties of sand was carried out, i.e. its moisture content, bulk density, and grain density, as well as an analysis of the chemical composition of sand. The intention of the research is to find an alternative to the dwindling supply of this type of raw material, which is essential for the construction sector. It is currently estimated that within 20 years there will be a shortage of sand of suitable quality for use in construction. The article presents the results of physicochemical tests and leachability of selected harmful substances (P, F, N-NH_4^+, Cl, SO_4^{2-}) and heavy metals (Ba, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Co, Fe, Ni) from waste from desanding.

Keywords: *municipal wastewater treatment, waste, sand, desanding, reuse*

1. Introduction

Municipal waste treatment plants are a set of facilities and processes that are used to purify domestic sewage or mixes of domestic sewage with industrial wastewater or stormwaters and meltwaters. The process of treatment of municipal waste is accompanied by the generation of waste. The waste generated during the technological processes may be divided into three types: screenings, content of sand separators and stabilized municipal sewage sludge [1, 2]. Each of the waste types must be managed according to the binding legal regulations. The waste generated in the process of waste treatment is a financial burden for the waste treatment plant. However, after proper treatment, it may constitute a valuable raw material. Sand from desanding is generated in the waste treatment process in two places: as a content of sand separators and as a result of the separation of impurities from cleaning of the sewerage [2, 3].

A common practice in waste treatment plants is handing over low-quality waste to external companies for purification from the excessive organic particles and management. If the waste meets the requirements specified in the order [4, 5] it ends its life cycle in the landfill. From the legal point of view, there is one more possible way – losing the waste status [6, 7]. Such a solution may be interesting, especially in the case of such a valuable waste as sand from desanding. In construction, sand is used as a component of standard concrete, mortar, plaster mortar, etc. The aggregate which is to be used in the construction industry must meet a number of requirements. One of them is an impact on the environment. The environmental aspect related to the use of sand from desanding as a recycling aggregate requires the determination of the leachability of harmful substances and heavy metals [8].

It assumes that the wastes/side products of one process become the raw material of another process. On one hand, such an attitude allows a reduction in the amount of waste. On the other hand, it helps lower significantly the costs of obtaining natural resources [9, 10]. Such a business model may become a solution in the acquisition of construction materials which are produced through power and material-consuming methods. Natural resources used in the construction industry such as sand, water or clay are not renewable. Once they are used, they are not suitable for recycling. At the same time, their availability decreases year by year. It is estimated that within 20 years the resources of sand of appropriate quality which can be used in the construction may be depleted. More and more the construction industry is forced to assume an ecological approach based on sustainable development. One of the directions of green construction is use of the recycled aggregate for the production of concrete. Over time, such a solution may gain its followers, due to its economic and ecological aspects.

Analysing RILEM [11] guidelines, sand from desanding may be classified as a third category of recycled aggregate – RCAC III. These are materials with at least 80% of the natural aggregate and a maximum of 20% of the recycled aggregate [11]. It needs to be underlined that the concrete based on the recycled aggregate handed over for use will be in contact with all the elements of the natural environment, especially with the soil and surface waters.

The purpose of the article is to evaluate the possibilities of using sand generated in the waste treatment plant in the construction industry. The issue dealt with in the article may form an alternative for the depleting sand resources which is an indispensable aggregate in the construction industry.

Tab. 1. Permissible limiting values for the leachability [4, 5] and the highest permissible value for other polluting substances [8]

Tab. 1. Dopuszczalne graniczne wartości wymywania [4, 5] oraz najwyższe dopuszczalne wartości dla pozostałych substancji zanieczyszczających [8]

Properties	Symbol	Criteria for landfills [4, 5], mg/kg			The maximum permissible value [8], mg/l
		inert waste	non-hazardous waste	hazardous waste	
pH	pH	-	min. 6	-	6.0 – 9.0
Chloride	Cl^-	800	15 000	25 000	1000
Sulphate	SO_4^{2-}	1000	20 000	50 000	500
Phosphorus	P	-	-	-	2
Potassium	K	-	-	-	80
Calcium	Ca	-	-	-	-
Sodium	Na	-	-	-	800
Fluoride	F	10	150	500	25
Barium	Ba	20	100	300	2
Zinc	Zn	4	50	200	2
Copper	Cu	2	50	100	0.5
Lead	Pb	0.5	10	50	0.5
Cadmium	Cd	0.04	1	5	-
Chrome	Cr	0.5	10	70	0.1
Cobalt	Co	-	-	-	1
Iron	Fe	-	-	-	10
Nickel	Ni	0.4	10	40	0.5

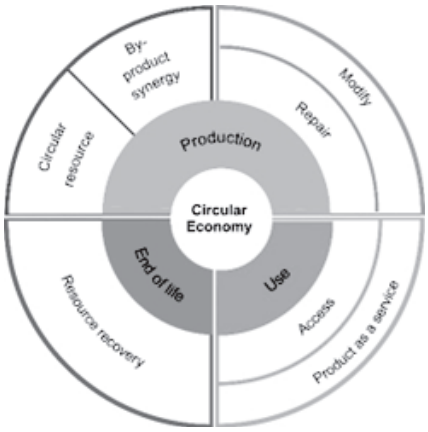


Fig.1. Circular economy business models based on a circular model [2, 9, 10]

Rys. 1. Model kołowy GOZ [2, 9, 10]

2. Materials and Methodology

2.1. Materials

The analysed material was a waste of code 19 08 02 [12]. This is the content of the sand separator. The waste is produced in the process of the mechanical treatment of waste as a result of sedimentation of the mineral suspension. Analysed sands (S) came from three municipal waste treatment plants:

- Municipal sewage treatment plant 1, which has a maximum daily capacity of 124 000 m^3/d.
- Municipal sewage treatment plant 2 is a plant with a maximum daily capacity of 84 000 m^3/d.
- Municipal sewage treatment plant 3 with a maximum daily capacity of 29 575 m^3/d.

Analysed sands (19 08 02) were not classified as dangerous waste. Sand_1 (S_1) was relatively homogenous with minor contaminations, i.e. small stones, fragments of glass and fragments of plastics. Dark yellow colour, neutral scent.

Sand_2 (S_2) is characterized by a dark yellow colour and neutral scent. The sand was relatively homogenous. It was contaminated with mineral and organic fractions: small pebbles, seeds, stems, fruit stones, glass and pieces of plastic.

Sand_3 (S_3) had a black colour and unpleasant smell – faecal. Moreover, during storage, it underwent rotting.

2.2. Methods

As a first testing step, the water content in the taken samples was determined according to the standard PN-EN 15934 [13]. Bulk density was also tested according to the standard PN-EN 1097-3 [14]. In order to obtain testing material of appropriate graining, the sand was dried out at the temperature of 105°C, cooled and screened through the sieves. Material prepared in such a way underwent the selected physical and chemical analyses. The loss on ignition of dry mass was determined in accordance with standard PN-EN 15935 [15]. Tested samples were also tested for the total content of organic carbon (TOC) - PN-Z-15011-3 [16] and ammonium nitrogen [17].

The aqueous extracts were prepared according to the standard PN-EN 12457-2 [18].

From the sampled waste an aqueous extract was prepared with a liquid-solid ratio of L/S = 10 l/kg. Elution liquid was distilled water of pH 6.9 and conductivity of 61.18 μS/cm. Then, the prepared sample was shaken in a laboratory shaker for 24 hours and afterwards filtrated. Analysis of the aqueous extracts from the tested sands covered several determinations. The pH of the solutions was determined with the use of Elmetron CPC-501 device in accordance with the standard PN-Z-15011-3[16]. The content of chlorides was determined with Mohr method with the use of silver nitrate (V) as a titration reagent and potassium chromate (VI) as an indicator (PN-ISO 9297) [19]. The determination of the sulphates (VI) (SO_4^{2-}) was performed with a gravimetric method with barium chloride according to the standard PN-ISO 9280 [20]. Determination of the content of sodium, calcium, potassium, lithium and barium in aqueous extracts from sands was performed through flame emission spectroscopy following stan-

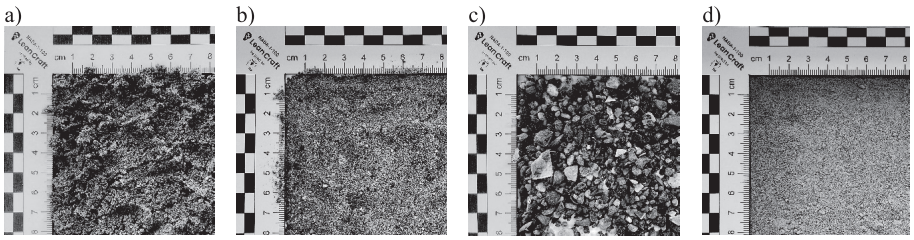


Fig. 1. Tested sand from desanding (S_1) a) raw fraction, b) fraction below 2 mm, c) fraction above 2 mm, d) analytical fraction
Rys. 1. Badany piasek z piaskownika (S_1) a) frakcja surowa, b) frakcja poniżej 2 mm, c) frakcja powyżej 2 mm, d) frakcja analityczna

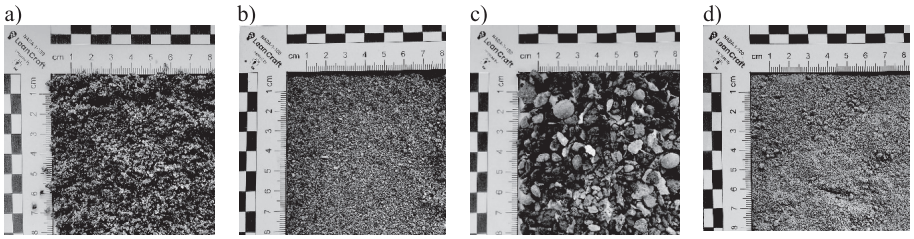


Fig. 2. Tested sand from desanding (S_2) a) raw fraction, b) fraction below 2 mm, c) fraction above 2 mm, d) analytical fraction
Rys. 2. Badany piasek z piaskownika (S_2) a) frakcja surowa, b) frakcja poniżej 2 mm, c) frakcja powyżej 2 mm, d) frakcja analityczna

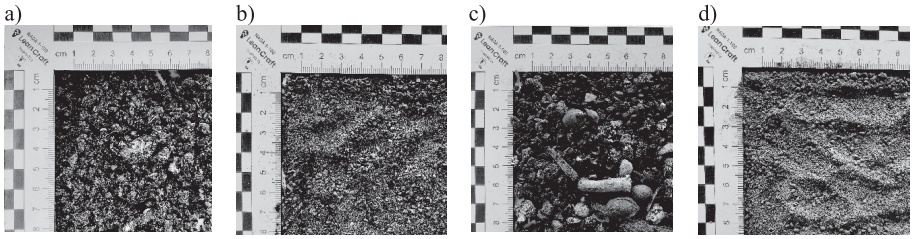


Fig. 3. Tested sand from desanding (S_3) a) raw fraction, b) fraction below 2 mm, c) fraction above 2 mm, d) analytical fraction
Rys. 3. Badany piasek z piaskownika (S_3) a) frakcja surowa, b) frakcja poniżej 2 mm, c) frakcja powyżej 2 mm, d) frakcja analityczna

Tab. 2. Basic physicochemical properties of tested sands from desanding
Tab. 2. Podstawowe właściwości fizykochemiczne badanych piasków z piaskowników

Properties	Symbol	Unit	S_1	S_2	S_3
Moisture total	M_T	%	15.93	13.50	30.32
Dry matter	DM	%	84.07	86.50	69.68
Moisture analytical	M_a	%	0.44	0.74	0.84
Bulk density	ρ_n	kg/dm^3	1.38	1.33	0.85
Degradable organic substances	DOS	%	1.21	3.79	8.21
Total organic carbon	TOC	%	0.57	1.78	3.86
Ammonium nitrogen	N - NH_4^+	mg/kg	23.47	loq**	182.20

*blq –values below the limit of quantification, **loq - the limit of quantification

dard PN-ISO 9964-3 [21]. Phosphorus was determined with the spectrophotometric method with ammonium molybdate and tin(II) chloride as reductors (PN-EN ISO 6878:2006) [22]. Photometric determination of fluorides was performed with the use of 1,8-Dihydroxy-2-(4-sulfophenylazo)naphthalene-3,6- disulfonic acid (SPADNS) [23]. For the evaluation of the content of heavy metals in aqueous extracts atomic absorption spectrometer AVANTA PM from GBC company was used which allows the determination of the elements with flame atomic absorption spectroscopy.

3. Results and Discussion

Table 2 presents the results which picture the basic physico-chemical properties of tested sands from desanding. Tested sands differed in the degree of leachability and dehydration. Sample S_3 contained approximately 30% of water, whereas samples S_1 and S_2 contained half of this water. According to the report RILEM [11] minimum density of recycled aggregate RCAC III in a dry state equals 2.400 kg/dm^3. Tested waste sands had lower density which may limit their reuse in the construction industry. However, the content of organic carbon (TOC) for samples S_1 and S_2 did not exceed 2% of the sand mass. Sample S_3 contained approximately 4% of organic carbon. Total organic carbon in tested samples did not exceed the permissible values for waste other than hazardous and neutral deposited in landfills (TOC≤5%) and for hazardous waste (TOC≤6%) [4, 5].

Fig. 4 presents a simple grain size distribution chart of tested sands. After drying, the sands were mechanically sieved into two fractions: above 2 mm and below 2 mm. An important parameter of aggregates used for the production of concrete is the so-called sand point. This is a percentage of fraction 0,063–2 mm in the total amount of the aggregate. The sand point for standard sand used in the construction industry reaches 100%. Tested samples had the sand point of about 95.2%, 90.4% and 57.3%.

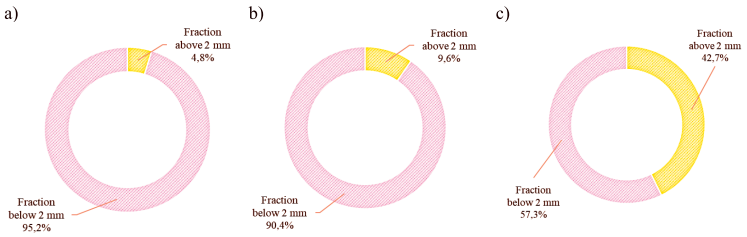


Fig. 4. Simple grain size distribution scheme of tested sand a) S_1, b) S_2, c) S_3

Rys. 4. Uproszczony skład granulometryczny badanych piasków, a) S_1, b) S_2, c) S_3

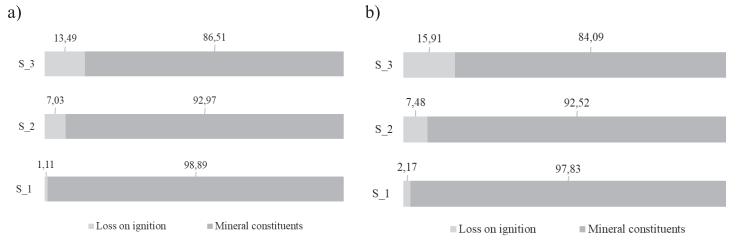


Fig. 5. Loss on ignition (LOI), a) temp. 440°C, b) temp. 600°C

Rys. 5. Loss on ignition (LOI), a) temp. 440°C, b) temp. 600°C

Tab. 3. Results of leachability of contaminants from tested sands expressed in mg/kg and mg/l (except for pH)

Tab. 3. Wyniki badań wymywalności zanieczyszczeń z badanych piasków wyrażone w mg/kg oraz mg/l (z wyjątkiem pH)

Properties	Symbol	S_1		S_2		S_3	
		mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l
pH	pH	7.0		7.3		6.6	
Chloride	Cl-	69.12	6.91	691.20	69.12	115.20	11.52
Sulphate	SO4-	1508.47	150.85	442.94	44.29	809.09	80.91
Phosphorus	P	1.31	0.13	blq*	blq*	13.07	1.31
Potassium	K	23.90	2.39	24.20	2.42	147.80	14.78
Calcium	Ca	223.60	22.36	174.90	17.49	198.80	19.88
Sodium	Na	20.80	2.08	24.90	2.49	39.40	3.94
Fluoride	F	7.56	0.76	4.00	0.40	12.41	1.24
Barium	Ba	0.60	0.06	blq*	blq*	45.60	4.56
Ammonium nitrogen	N - NH_4^+	23.47	2.35	loq**	loq**	182.20	18.22
Zinc	Zn	1.00	0.10	1.10	0.11	3.50	0.35
Copper	Cu	0.60	0.06	0.80	0.08	blq*	blq*
Lead	Pb	0.05	0.005	0.50	0.05	0.20	0.02
Cadmium	Cd	0.10	0.01	0.20	0.02	blq*	blq*
Chrome	Cr	0.30	0.03	0.20	0.02	0.40	0.04
Cobalt	Co	0.20	0.02	0.40	0.04	blq*	blq*
Iron	Fe	blq*	blq*	blq*	blq*	1.30	0.13
Nickel	Ni	blq*	blq*	blq*	blq*	blq*	blq*

*blq –values below the limit of quantification, **loq - the limit of quantification

Fig. 5 presents the results of the content of organic substances (LOI). The content of organic particles was determined through the ignition method at the temperatures of 440°C and 600°C. The temperature of 440°C was selected based on the scientific literature [24]. Tested sands varied in the content of organic particles. In the case of samples S_1 and S_2, it was noted that the loss on ignition (LOI in 600°C) met the criteria for depositing in the landfills other than hazardous and neutral (LOI≤8%) [4, 5]. However, the sample S_3 does not meet the requirement that allows for depositing in landfills of hazardous waste (LOI≤10%) [4, 5].

Table 3 presents the scope of leachability of selected contaminants from the tested sands, which may pose a potential nuisance to the environment. The obtained results of leachability of hazardous substances and heavy metals from the tested sands were compared to the highest permissible values for the contaminants specified in the order [8] and permissible limiting values of contaminants that allow for depositing of waste in the landfills specified in order [5, 6]. The leachability of chlorides does not exceed the permissible levels stipulated in the discussed legal regulations. The leachability level for sulphates in tested samples did not exceed the acceptable levels for depositing in landfills of waste other than hazardous or neutral.

An exception is sample S_1 for which the sulphates level exceeds the permissible values for neutral landfills. In the case of sample S_3 the highest leachability was achieved for barium and ammonium nitrogen. Their levels exceeded the permissible values.

Furthermore, in aqueous extracts obtained from the tested sands the content of the heavy metals was determined, i.e.: zinc, lead, copper, cadmium, chrome, cobalt, iron, manganese and nickel. The obtained concentrations of heavy metals in aqueous extracts were compared with the permissible values for wastes destined for landfills other than hazardous and neutral and for hazardous wastes. It needs to be underlined that the content of heavy metals leachable from the tested sands did not exceed the permissible values for the discussed cases.

Analysing the obtained results and based on the performed determinations we may state that sands S_1 and S_2 meet the binding requirements and their reuse can be consi-

dered. However, the results for sand S_3 show that out of all the tested substances barium and ammonium nitrogen exceed the limits specified in legal regulations.

4. Conclusions

Growing demand for sand for construction may in the near future lead to an ecological catastrophe. Wasteful exploitation of such precious resources as sand causes large damage to the natural environment.

Evaluating tested sands S_1 and S_2 in light of environmental impact, we may state that the obtained levels of leachability of hazardous substances and heavy metals do not pose any potential damage to the natural environment. There are objections concerning the use of sand S_3 whose results do not meet the two parameters specified in the binding legal regulations.

In the context of the reuse in construction, the tested sands should undergo a careful washout which would decrease the amount of contaminants and result in a significant improvement in the quality of this aggregate. This simple procedure would increase the possibility of using the tested sand in the construction industry to a wider extent.

The presented results are preliminary tests. In further tests, the sand will undergo the toxicity tests and microbiological evaluation, including the determination of the indicator bacteria and selected pathogens.

Acknowledgements

Research and publication funded by the 9th edition of the Project-Based Learning (PBL) funding competition, under the Excellence Initiative – Research University program.

Literatura – References

1. Bieniowski, M., Bauman-Kaszubska, H., Kozakiewicz, P., 2020. Rozważania na temat zagospodarowania piasku powstającego w oczyszczalniach ścieków. Forum Eksploatatora, 108, 52-55.
2. Jankowska, T., Socha, K., Czop, M., 2023. Odzysk piasku z oczyszczalni ścieków do wykorzystania w budownictwie. Współczesne problemy ochrony środowiska i energetyki 2022, 318-329.
3. Karło, A., Gembołyś, B., Pieczykolan, M., Bacza, T., 2018. Piasek z piaskowników – od odpadu do surowca. Forum Eksploatatora, 5(98), 38-40.
4. Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32003D0033 (Availabe online: 08.08.2023).
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. 2015 poz. 1277). https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150001277 (Availabe online: 16.06.2023).
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32008L0098 (Availabe online: 08.08.2023).
7. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21) https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20130000021 (Availabe online: 08.07.2022).
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311). https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id =WDU20190001311 (Availabe online: 16.06.2023).
9. Cyrkularne modele biznesowe, https://gozwpraktyce.pl/modele-biznesowe/ (Availabe online: 08.07.2023).
10. Odzysk produktów ubocznych, https://gozwpraktyce.pl/odzysk-produktow/ (Availabe online: 08.07.2023)
11. Golda, A., Król, A., 2006. Drugie życie betonu. Budownictwo, Technologie, Architektura, 4, 44-47.

12. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020 poz. 10). https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU 20200000010 (Availabe online: 16.06.2023).
13. PN-EN 15934:2013-02 Osady ściekowe, uzdatnione bioodpady, gleba oraz odpady. Oznaczanie suchej masy poprzez oznaczanie zawartości suchej pozostałości lub zawartości wody.
14. PN-EN 1097-3:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości.
15. PN-EN 15935:2022-01 Gleba, odpady, uzdatnione bioodpady oraz osady ściekowe. Oznaczanie strat podczas prażenia.
16. PN-Z-15011-3:2001 Oznaczanie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu.
17. Hermanowicz, W., Dojlido, J., Dożańska, W., Koziorowski, B., Zerbe, J., Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999.
18. PN-EN 12457-2:2006 Charakteryzowanie odpadów. Wymywanie. Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Część 2: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).
19. PN-ISO 9297:1994 Jakość wody. Oznaczanie chlorków. Metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra).
20. PN-ISO 9280 Jakość wody. Oznaczanie siarczanów (VI). Metoda grawimetryczna z chlorkiem baru.
21. PN-ISO 9964-3:1994 Oznaczanie sodu i potasu metodą emisyjnej spektrometrii płomieniowej.
22. PN-EN ISO 6878:2006 Jakość wody. Oznaczanie fosforu. Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu.
23. REF 918142, Test 1-42, Standard methods for the examination of water and wastewater (4500-F–D), Fluoride.
24. Łądkiewicz, K., Wszędyrówny-Nast, M., Krystyna Jaśkiewicz, K., 2017. Comparison of different methods for determination of organic matter content. Sci. Rev. Eng. Env. Sci., 26 (1), 99–107. DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.1.09.

Badanie i ocena właściwości fizykochemicznych zawartości piaskowników

W artykule dokonano oceny właściwości fizykochemicznych piasku z piaskowników oczyszczalni ścieków pod kątem wymagań stawianych kruszywom budowlanym. W związku z tym przeprowadzono analizę właściwości fizycznych piasku: wilgotność, gęstość nasypową, a także analizę składu chemicznego piasku i poziom wymywalności substancji szkodliwych oraz metali ciężkich. Celem badań było znalezienie alternatywy dla malejącej zasobów tego cennego surowca, niezbędnego dla sektora budowlanego. Obecnie szacuje się, że w ciągu 20 lat zabraknie piasku odpowiedniej jakości do wykorzystania w budownictwie. W artykule przedstawiono wyniki badań fizykochemicznych oraz wymywalności wybranych substancji szkodliwych (P, F, N-NH_4^+, Cl, SO_4^{2-}) i metali ciężkich (Ba, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Co, Fe, Ni) z zawartości piaskownika.

Słowa kluczowe: *oczyszczalnie ścieków komunalnych, odpady, piasek, piaskownik, ponowne wykorzystanie*

Analiza zagrożenia hałasem w zakładach mechanicznej przeróbki węgla kamiennego

Aleksander LUTYŃSKI[1)]

[1)] Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 44-101 Gliwice ul. Pszczyńska 37; email: alutynski@komag.eu; ORCID: 0000-0001-6172-5839

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-67

Submission date: 23-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstrakt

W artykule przedstawione zostały wyniki analizy zagrożeń hałasem w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego w okresie od 2003 do 2022 roku. Przeanalizowano zapadalność na choroby zawodowe w górnictwie węgla kamiennego ogółem i zakładach przeróbki węgla oraz zapadalność na choroby zawodowe, których przyczyną był hałas. Przeanalizowano także liczby stanowisk pracy zagrożonych hałasem w zakładach przeróbki w analizowanym okresie. Ze względu na dynamiczne zmiany organizacyjne w polskim górnictwie węglowym w okresie prowadzonej analizy skutkujące zmniejszoną liczbą kopalń, zakładów przeróbki mechanicznej węgla, a tym samym liczbą stanowisk pracy w tych zakładach oraz zmniejszeniem wydobycia węgla o blisko 50% zaproponowano wskaźnik oceny stanu zagrożenia hałasem WTH na stanowiskach pracy odniesiony do sumarycznej ilości węgla wzbogacanego w zakładach przeróbki w poszczególnych latach. Najniższą wartość tego wskaźnika wynoszącą 4,4 (1/mln Mg) odnotowano w 2004 roku, a wartość najwyższą 8,6 (1/mln Mg) w roku 2022.

Słowa kluczowe: *górnictwo, zakład przeróbczy, zagrożenie hałasem*

1. Wprowadzenie

Hałasem nazywamy każdy niepożądany, nieprzyjemny, uciążliwy i szkodliwy dźwięk działający na organ słuchu człowieka. Hałas, ze względu na jego natężenia, może być również niebezpieczny dla zdrowia człowieka.

W roku 2022 w polskim przemyśle zatrudnionych było 2 892 472 osób, z czego w warunkach zagrożonych hałasem zatrudnionych było 181 854 osób, co stanowi 6,2%. Natomiast w sektorze górnictwo i wydobywanie w warunkach zagrożonych hałasem zatrudnionych było 21 569 osób przy zatrudnieniu ogółem w tym sektorze 133 034. Tak więc w przypadku tego sektora gospodarki odsetek osób zatrudnionych w warunkach zagrożonych hałasem stanowi 16,2%. Jest drugi sektor przemysłu po przetwórstwie przemysłowym, w którym w warunkach zagrożonych hałasem pracuje 75,4%. Tak więc w tych dwóch sektorach polskiego przemysłu zatrudnionych jest w warunkach zagrożonych hałasem łącznie 91,6% ogółu osób [21].

Konsekwencją pracy w warunkach szkodliwych są choroby zawodowe. W tabeli 1 przedstawiono dane dotyczące analizy zachorowań na chorobę zawodową spowodowaną hałasem w latach 2003–2022 [2-17], a na rys.1 procentowe udziały liczby chorób zawodowych spowodowanych hałasem do ogólnej liczby orzeczonych chorób zawodowych w górnictwie ogółem i w zakładach przeróbki mechanicznej.

Z przedstawionych danych wynika, że choroby zawodowe których przyczyną jest hałas są w zakładach przeróbki mechanicznej ponad sześć razy częściej orzekane jak w całym sektorze górnictwie węgla kamiennego.

Wyniki analizy przedstawionej w tabeli i na rysunku wykazały, że zarówno w górnictwie jak i zakładach przeróbki mechanicznej w okresie wykonywanej analizy nastąpił spadek liczby orzeczonych chorób zawodowych spowodowanych hałasem. Wykazano także, że procentowy udział chorób zawodowych spowodowanych hałasem w zakładach przeróbki jest ponad sześć razy większy niż całym sektorze górnictwa węgla kamiennego. Prezentowane dane wskazują na to, że w przypadku górnictwa ogółem procentowy udział liczby chorób zawodowych spowodowanych hałasem ma tendencję malejącą, natomiast w przypadku zakładów przeróbki mechanicznej tendencja ta jest rosnąca.

Spadek zachorowalności, który zaobserwowano wynika z poprawy skuteczności walki z hałasem polegającej na stosowaniu metod technicznych i administracyjno-prawnych.

Do metod technicznych zaliczyć należy:

- ograniczenie emisji źródeł hałasu,
- ograniczenie transmisji wibroakustycznej,
- aktywna redukcja hałasu,
- ograniczenie immisji polegającej na osobistej ochronie pracownika.

Do metod administracyjnych zalicza się ustawy, przepisy, zarządzenia, normatywy i normy oraz właściwą organizację pracy w zakładzie.

Warunki jakie spełniać powinien klimat akustyczny w środowisku pracy definiują odpowiednie rozporządzenia [18]. Z tych aktów prawnych wynika się, że ze względu na ochronę słuchu dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy wynoszą:

- 85 dB – w odniesieniu do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy,
- 115 dB – maksymalny poziom dźwięku A,
- 135 dB – szczytowy poziom dźwięku C.

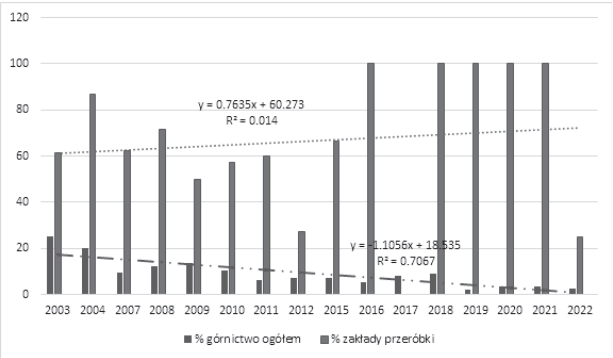
W analizach i ocenach klimatu akustycznego na stanowiskach pracy operuje się pojęciem najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS). Jest to wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń [19].

Tab. 1. Choroby zawodowe w górnictwie ogółem i zakładach przeróbki mechanicznej spowodowane hałasem w latach 2003–2022. Źródło: opracowanie własne na podstawie 2–17

Tab. 1. Occupational diseases in mining in general and in mechanical processing plants caused by noise from 2003 to 2022. Source: own elaboration based on 2–17

Rok Year	Górnictwo ogółem Total mining			Zakłady przeróbki mechanicznej węgla Coal preparation plants		
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
2003	194	774	25,1	16	26	61,5
2004	132	655	20,1	13	15	86,7
2007	57	608	9,4	5	8	62,5
2008	75	610	12,3	5	7	71,4
2009	74	546	13,5	5	10	50,0
2010	71	671	10,6	4	7	57,1
2011	42	611	6,2	4	10	60,0
2012	36	502	7,2	3	7	27,3
2015	23	326	7,1	2	3	66,7
2016	27	488	5,5	3	3	100
2017	23	288	8,0	0	0	0
2018	23	254	9,1	1	1	100
2019	7	300	2,3	2	2	100
2020	14	387	3,6	2	2	100
2021	10	277	3,6	1	1	100
2022	10	381	2,6	1	4	25,0
Średnio / Medium			**9,1**	**Średnio / Medium**		**60,5**

1 – liczba chorób zawodowych spowodowanych hałasem w danym roku / number of noise-related occupational diseases in a given year; 2 – sumaryczna liczba chorób zawodowych orzeczonych w danym roku / total number of occupational diseases diagnosed in a given year; 3 – procent chorób zawodowych, których przyczyną był hałas do ogólnej liczby orzeczonych chorób / percentage of occupational diseases caused by noise to the total number of diseases diagnosed.
W latach 2005, 2006, 2013 i 2014 brak danych / In 2005, 2006, 2013 and 2014 no data available



Rys. 1. Procentowe udziały liczby chorób zawodowych spowodowanych hałasem w górnictwie ogółem i w zakładach przeróbki. Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Percentages of the number of occupational diseases caused by noise in mining in general and in processing plants. Source: own elaboration

2. Identyfikacja zagrożeń hałasem w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego

Analizie zagrożeń hałasem w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego poddano lata 2003–2022. W tym okresie następowały dynamiczne zmiany organizacyjne w polskim górnictwie węglowym. W roku 2003 czynnych było bowiem 41 kopalń [20]. W każdej kopalni funkcjonował zakład przeróbki mechanicznej wzbogacając węgiel w różnym zakresie. W roku 2022 czynnych było tylko 20 kopalń. Prowadziły one działalność 30 ruchach, praktycznie odpowiadającym dawnym kopalniom [1]. Istotnie więc zmniejszyła się liczba zakładów przeróbki mechanicznej węgla, a tym samym liczba stanowisk pracy. W okresie tym zmniejszyło się też o blisko 50% wydobycie węgla [22], co pokazano na rys. 2.

Informacje o zagrożeniach hałasem na stanowiskach pracy w zakładach przeróbki mechanicznej zaczerpnięto z „Raportów rocznych o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego" [2–17], rocznika wydawanego przez Główny Instytut Górnictwa. Informacje o liczbie stanowisk zagrożonych hałasem w latach 2003 do 2022 pokazano na rys. 3.

Ze względu na dynamikę zmian organizacyjnych w analizowanym okresie identyfikacja całkowitej liczby stanowisk w ciągach technologicznych wszystkich zakładów przeróbki była praktycznie niemożliwa. Z tego względu do oceny stanu zagrożeń hałasem na stanowiskach pracy przyjęty został wskaźnik WZH, który odnoszony jest do sumarycznej ilości węgla wzbogacanego w zakładach przeróbki w poszczególnych latach. Pozwala on, jak się wydaje, na obiektywną ocenę dynamiki stanu zagrożenia hałasem w tych zakładach przy zaistniałych zmianach w ich liczbie. Wskaźnik zagrożenia hałasem WZH wyznaczano z następującej zależności:

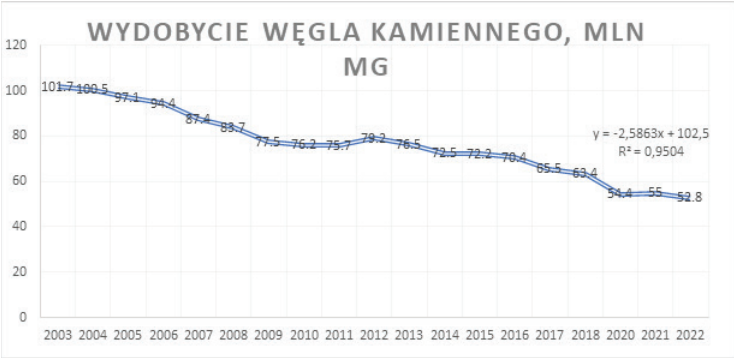
$$WZH=H/W \ (1/mlnMg)$$

gdzie: H –liczba stanowisk pracy zagrożonych hałasem w danym roku kalendarzowym,-; W – wydobycie węgla w danym roku kalendarzowym, mln Mg.

Wielkości obliczonych wskaźników zagrożenia hałasem WZH w poszczególnych latach podano w tabeli 2. Graficzny obraz zmian tego wskaźnika prezentuje rys. 4.

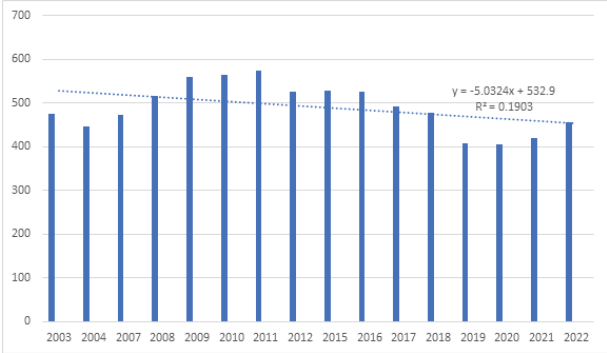
3. Dyskusja wyników przeprowadzonej analizy

Analizowany okres od 2003 do 2022 roku był, jak wspomniano wyżej, okresem dynamicznych zmian strukturalnych



Rys. 2. Zmiany wydobycia węgla kamiennego w Polsce lata 2003–2022 Źródło: opracowanie własne na podstawie 22

Fig. 2. Changes in hard coal extraction in Poland 2003–2022. Source: own elaboration based on 22



Rys. 3. Liczba stanowisk pracy zagrożonych hałasem w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. Źródło: opracowanie własne na podstawie 2–17

Fig. 3. Number of noise-prone workplaces in coal mine mechanical processing plants. Source: own elaboration based on 2–17

Tab. 2. Wydobycie węgla kamiennego w Polsce w latach 2003–2022 i wskaźnik WZH zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. Źródło: opracowanie własne

Tab. 2. Hard coal extraction in Poland in the years 2003–2022 and the WZH index of noise pollution at workplaces in mechanical processing plants of hard coal mines. Source: own elaboration

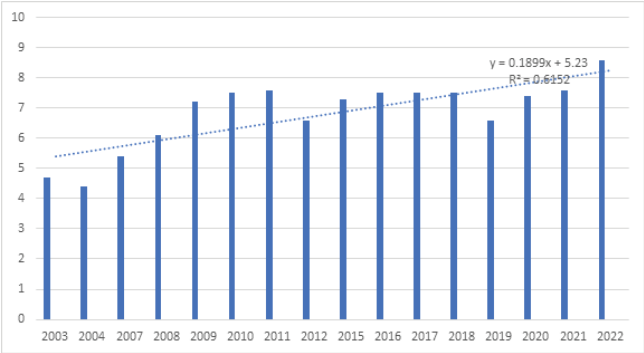
Rok Year	**2003**	**2004**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Wydobycie, Extraction mln Mg	101,1	100,5	87,4	83,7	77,5	76,2	75,7	79,2
WZH 1/mln Mg	4,7	4,4	5,4	6,1	7,2	7,4	7,6	6,6
Rok Year	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**
Wydobycie, Extraction mln Mg	72,2	70,4	65,5	63,4	61,6	54,4	55,0	52,8
WZH 1/mln Mg	7,3	7,5	7,5	7,5	6,6	7,4	7,6	8,6

w górnictwie węgla kamiennego, które związane były z istotnym zmniejszeniem liczby kopalń węgla kamiennego, a tym samym ich zakładów przeróbczych oraz ze zmniejszeniem wydobycia tego surowca. Tak więc zarówno w przypadku wydobycia węgla w polskich kopalniach jak i liczby stanowisk pracy w zakładach przeróbki mechanicznej zagrożonych hałasem wystąpiły trendy spadkowe. Jednak trend spadkowy wydobycia węgla miał charakterem monotoniczny i większą siłą spadku. W przypadku stanowisk pracy zagrożonych hałasem siła spadku była znacznie mniejsza, a liczby tych stanowisk w poszczególnych latach wykazywały znaczne różnice. W początkowym okresie, w latach 2003 do 2007 były nieco niższe (w granicach ok. 450–480), aby w latach 2009–2011 osiągnąć wartości maksymalne (w granicach ok. 570–580) i w latach 2019–2021 powrócić do wartości nieco powyżej 400.

Natomiast wskaźnik WZH, przyjęty do oceny stanu zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w zakładach przeróbczych węgla kamiennego, odniesiony do sumarycznej ilości węgla wzbogacanego w tych zakładach, wykazał trend wznoszący z dość znaczną siłą wzrostu. Najniższą wartość tego wskaźnika wynoszącą 4,4 (1/mln Mg) odnotowano w 2004 roku, a wartość najwyższą 8,6 (1/mln Mg) w roku 2022.

Stan taki uznać należy za wysoce niezadawalający. Wskazuje on na konieczność zarówno dalszych pogłębionych jego analiz jak i podejmowania działań prowadzących do jego poprawy. Celem tych działań powinno być ograniczenie emisji hałasu generowanego przez maszyny i urządzenia pracujące w ciągach technologicznych. Koniecznym jest tutaj doskonalenie metod technicznych poprawiających komfort akustyczny środowiska pracy.

Przeprowadzone analiza wykazała również, że mimo nieznacznego zmniejszenia liczby stanowisk pracy zagrożonych hałasem i wyraźnego wzrostu wskaźnika WZH znacznie zmniejszyła się liczba chorób zawodowych spowodowanych hałasem w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. W roku 2003 liczba ta wyniosła 16, w roku 2004 – 13, a w latach 2021 i 2022 zanotowano po jednym takim przypadku. Może to być konsekwencją poprawnego zdiagnozowania klimatu aku-



Rys. 4. Wskaźnik WZH zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego w latach 2003–2022. Źródło: opracowanie własne

Fig. 4. WZH index of noise hazard at workplaces in coal mine mechanical processing plants for the period 2003–2022. Source: own elaboration

stycznego środowiska pracy i konsekwentnego stosowania u osób pracujących w nim odpowiednich indywidualnych środków ochrony słuchu. Obecnie istnieje bowiem bogata oferta takich ochronników słuchu, których skuteczność wzrasta, a właściwości są stale doskonalone. Jednak stosowanie indywidualnych środków ochrony słuchu powinno być ostatnim działaniem na drodze do poprawy komfortu pracy w środowisku maszyn i urządzeń emitujących hałas.

Literatura – References

1. Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2022 roku. Wyższy Urząd Górniczy, Katowice 2023
2. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2003. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2004
3. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2004. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2005
4. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2007. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2008
5. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2008. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2009
6. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2009. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2010
7. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2010. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2011
8. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2011. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2012
9. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2012. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2013
10. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2015. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2016
11. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2016. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2017
12. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2017. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2018
13. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2018. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2019
14. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2019. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2020
15. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2020. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2021
16. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2021. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2022
17. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w roku 2022. Główny Instytut Górnictwa Katowice 2023
18. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy Dz.U. 2018 poz. 1286 z późn. zm.
19. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318
20. Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie w 2003 roku. Wyższy Urząd Górniczy. Katowice 2004
21. Warunki pracy w 2022 r.. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa, Gdańsk 2023
22. https://www.locja.pl/raport-rynkowy/produkcja-i-zuzycie-wegla-w-polsce-i-unii-europejskiej [wgl. 21.11.2023]

Analysis of Noise Pollution at Mechanical Coal Processing Plants

This article presents the results of an analysis of noise hazards in coal mine preparation plants from 2003 to 2022. The incidence of occupational diseases in coal mining in general and in coal preparation plants and the incidence of occupational diseases caused by noise were analysed. The number of noise-prone workplaces in the preparation plants during the analysed period was also analysed. Due to dynamic organisational changes in the Polish coal mining in the analysed period, which resulted in a reduced number of mines, coal preparation plants, and thus the number of workplaces in these plants, as well as a decrease in coal extraction by almost 50%, an indicator for the assessment of the state of noise pollution at workplaces was proposed, related to the total volume of coal enriched in the preparation plants in the individual years. The lowest value of this indicator of 4.4 (1/mln Mg) was recorded in 2004 and the highest value of 8.6 (1/mln Mg) in 2022.

Keywords: *mining, processing plant, noise pollution*

Validation of Data Collection Methods for Survey Stockpiles Measurement

Martina HULANOVÁ[1], Lukáš KUTIL[2], Marcela STANICZKOVÁ[3], Pavel ČERNOTA[4], Hana STAŇKOVÁ[5]

[1] Ing.; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: martina.hulanova@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7333-717X
[2] Ing., Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: lukas.kutil.st@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5564-5850
[3] JUDr.; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: marcela.staniczkova.st@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4208-5421
[4] doc. Ing., PhD; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: pavel.cernota@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5537-5932
[5] prof. Ing., PhD; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: hana.stankova@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0013-3666

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-68

Submission date: 23-11-2023 | Review date: 30-11-2023

Abstract

The paper focuses on validating data collection methods for surveying stockpiles, critical in industries like construction and mining, ranging from traditional manual approaches to advanced technologies such as LiDAR and drones. The study assesses accuracy and reliability, considering factors like equipment precision and data processing. It examines various measurement techniques and devices, comparing their accuracy, usability, and results. This work underscores the importance of reliable data in fostering efficiency and sustainability across industries.

Keywords: *stockpiles, laser scanning, drone, iPhone, measuring, volume calculation*

Introduction

Accurate measurement of stockpiles is crucial for various industries, including construction, mining, and agriculture. The reliability of these measurements depends largely on the data collection methods employed during surveys. Ensuring the validation of these methods is imperative to guarantee the precision and credibility of the gathered information.

Stockpile measurement plays a pivotal role in inventory management, resource planning, and regulatory compliance for organizations dealing with bulk materials. The methods employed for data collection range from traditional manual measurements to advanced technologies such as LiDAR (Light Detection and Ranging), drones or mobile phones. Each method comes with its own set of advantages and limitations, making it essential to scrutinize their accuracy and reliability.

This exploration into the validation of data collection methods for surveying stockpiles aims to address the challenges associated with ensuring the precision and consistency of measurements. It involves assessing the accuracy of measurements stockpile materials by different methods.

By comprehensively validating these data collection methods, industries can enhance their decision-making processes, optimize resource utilization, and meet regulatory requirements with confidence. This topic not only contributes to the advancement of stockpile measurement techniques but also underscores the significance of reliable data in fostering efficiency and sustainability in various sectors.

Tested area

As a tested area we chose a Packing plant – STRABAG, who allowed us to use the premises for the measuring. There are eleven piles of gravel of various sizes as seen in the Figure 2.

To collect data were chosen four methods. Laser scanning method, unmanned aerial vehicles (UAV – drone), mobile mapping and photogrammetric method using iPhone.

Methods of data collection

The laser scanning method is a technology based on the non-contact determination of spatial coordinates of objects, suitable for subsequent 3D modeling and visualization of buildings, especially for more complex and extensive structures. It is widely used in various areas, encompassing the scanning of interiors, exteriors, historical buildings, underground spaces, and many other objects. The primary advantages of this method are its high speed and accuracy. The output of this technique is a point cloud, which can be used to create a 3D model of the building.

Drones are unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with cameras, sensors, and other tools used for collecting data from the environment. They have become invaluable tools for scientists and researchers because they can gather data in areas that are difficult to access or too dangerous for humans.

Mobile mapping utilizes various vehicles such as cars, ships, railcars, drones, and others as carriers for scanners. The collected data may come from multiple cameras, diverse sensors, different times, depths, or viewpoints. Through registration, we can compare and integrate data obtained from these varied measurements. The equipment includes an In-

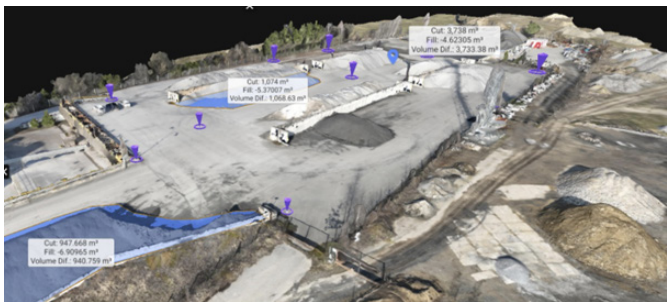


Fig. 1. Tested stockpiles
Rys. 1. Badane zwałowiska

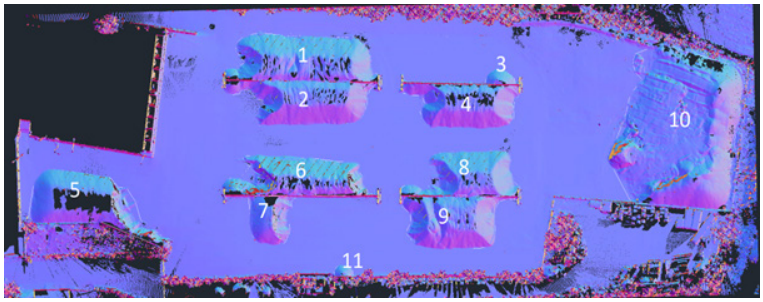


Fig. 2. Tested stockpiles – point clouds
Rys. 2. Badane zwałowiska chmura punktów

Fig. 3. Leica RTC360
Rys. 3. Skaner laserowy Leica RTC360

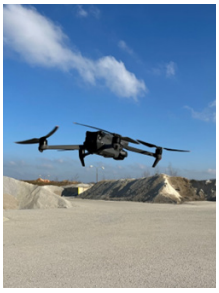


Fig. 4. DJI Mavic 3
Rys. 4. Dron DJI Mavic 3

Fig. 5. Geo SLAM ZEB Horizon
Rys. 5. Skaner ręczny Geo SLAM ZEB Horizon

ertial Navigation System (INS), which comprises an Inertial Measurement Unit (IMU) and a GNSS receiver determining the device's position for field measurements. When operating inside buildings, the use of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) technology becomes necessary. The IMU, typically consisting of three accelerometers and three gyroscopes (for all three axes in space), determines tilts and accelerations. These parameters are then used in calculating the coordinates of measured points. The IMU provides the necessary data for determining the motion trajectory, refined further using GNSS or SLAM.

The photogrammetric method using an iPhone involves installing an application for collecting photos with an automatic calculation of cubic volumes.

Used devices

- Leica RTC360

This highly automated and innovative solution for capturing data in 3D reality effectively combines the powerful RTC360 3D laser scanner with the Leica Cyclone FIELD 360 application. This application enables the automatic re-registration of scans in real-time directly in the field. The Leica Cyclone REGISTER 360 software is then employed for fast processing into the final cloud (Figure 3).

- DJI – Mavic 3

The DJI drone is equipped with a photogrammetric camera and an RTK receiver, enabling the rapid and precise creation of 2D maps, 3D models, or point clouds. This drone provides advanced settings for flight parameters, and the RTK module ensures an accuracy of 1 cm or 1.5 cm and beyond. Additionally, the Mavic 3 comes with built-in GPS, offering a maximum flight time of forty-six minutes (Figure 4).

- Geo SLAM ZEB Horizon

It is characterized by its long range, speed, and high accuracy. With a range of up to 100 meters, the ability to capture 300,000 points per second, and achieve 6mm relative accuracy, the ZEB-HORIZON proves to be excellent for outdoor applications. Its lightweight and compact design also make it well-suited for indoor surveys. The processing is automatic and very user-friendly (Figure 5).

Fig. 6. iPhone SE – installed application
Rys. 6. Aplikacja w telefonie IPhone SE

Method	data measurement				
	description	time	cost of equipment	service difficulty	weather resistance
Terrestrial laser scanning	stop&go method tops of stockpiles extra cover creating point clouds Leica	2h/site	30 000 €	start-stop button tripod leveling position selection survey on top stockpile 	high resistance to dust and water
Evaluation		3	5	3	2
Photogrametry dron	flying the same flight path taking photos in raster dji	0,2h/site	3 000 €	automatic takeoff and landing automatic flying basic drone control skill is essential safety 	limits for rain, fog, wind
Evaluation		1	2	3	3
Photogrametry mobile phone	slow walk with mobile phone - iPhone iPhone	2h/site	600 €	patience on the walk no shake 	limits for rain, fog, wind
Evaluation		3	1	3	3
Mobile laser scanning SLAM	hand mobile method tops of stockpiles extra cover creating point clouds GeoSLAM	0,2h/site	45 000 €	start-stop buttom survey on top stockpile 	high resistance to dust and water
Evaluation		1	5	2	2

Fig. 7. Comparison of individual methods
Rys. 7. Porównanie stosowanych metod

- iPhone SE – application Stockpile report for volume calculation

With this application, it is possible to calculate timely and accurate stockpile volumes and tonnage using data collected by an iPhone. The installed app utilizes real-time automated cameras, and the post-processing of data is automatic (Figure 6).

Data collection and processing

The data collection took place in the selected territory, as shown in Figure 2. Identical points were strategically placed, measured by a total station, and subsequently used for data collection and processing in laser scanning, drone flying, and mobile mapping methods. Uti-

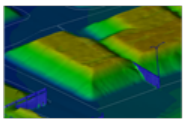
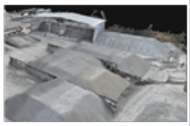
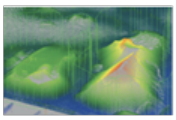
Method	data postprocessing							
	description	time	cost of aplication	difficulty processing	difficulty calculation volume	accuracy	data sharing	photo
Terrestrial laser scanning	Tromble bussines center - connection, cleaning, classification, mesh, volume calculation of point clouds	2h/site	16 €	Trimble bussines center no online solution desktop software subject knowledge	draw polygon stockpile plane adjustments report editing	probablythe most accurate method 1-2 percent	offline external cloud	
Evaluation		3	1	3	3	1	4	**2,8**
Photogrametry dron	Pix4D, Propeller - upload data (photos and coordinates) to the cloud for calculation solution: Pix4D, Propeller	0,5h/site	100 €	Pix4D, Propeller - simple upload of data to the cloud	draw polygon stockpile plane adjustments report pre-prepared	very good, 1-2 percent	online aplication	
Evaluation		2	3	1	2	1	1	**1,9**
Photogrametry mobile phone	Stockpile report - upload data (photos and coordinates) to the cloud for calculation solution: Pix4D, Propeller	0,5h/site	80 €	Stockpilereport.com simple upload of data to the cloud	draw polygon stockpile plane adjustments report pre-prepared	more complex shapes - measure from a high deviation or not at all 3-4 percent (hodnocení mezi 3-4)	online aplication	
Evaluation		2	3	1	1	3	1	**2,1**
Mobile laser scanning SLAM	connection, cleaning, classification, mesh, volume calculation of point clouds	2h/site	15 €	GeoSLAM no online solution desktop software Volume - 2000Euro plus subject knowledge	draw polygon stockpile plane adjustments report editing	very good, 1-2 percent	offline external cloud	
Evaluation		3	1	3	3	1	4	**2,5**

Fig. 8. Comparison of individual methods – processing

Rys. 8. Porównanie stosowanych metod – obliczenia

Stock pile name	Leica RTC360 Cloud Compare [m3]	Leica RTC360 TBC s oftware [m3]	Mavic 3 Pix4D.cloud [m3]	Mavic 3 Propeller [m3]	GeoSLAM [m3]	iPhone SE Stockpilerepo rt.com [m3]	Site volume [m3]
1	1 324	1 268	1 308	1 336	1 353		1 362
2	989	1 083	1 074	1 081	1 115	1 105	1 226
3	26	28	25	27	30	34	
4	892	879	902	923	907	890	961
5	901	902	947	941	948	1 256	1 050
6	970	982	1 000	1 008	967	972	989
7	220	238	226	235	234	242	
8	713	722	723	736	720	716	719
9	996	1 000	1 020	1 042	1 010	1 022	916
10	3 553	3 504	3 738	3 761	3 752	3 567	3 814
11	8	10	9	9			
Completed	9 014	9 072	9 404	9 492	9 419	9 528	9 675

Fig. 9. Volume results

Rys. 9. Porównanie uzyskanych objętości

lizing identical points ensures compactness and processing accuracy.

Before the measurement, individual devices were compared based on measurement time, purchase price, difficulty of data collection, and resistance to weather effects, and were rated from 1 to 5. The results can be seen in Figure 7.

Upon completion of data collection using all selected methods, processing was carried out using various software. For the Leica RTC360, Cloud Compare, and Trimble Business Centre (TBC) were employed. Data from the Mavic 3 drone were processed in Pix4D Cloud and Propeller, while GeoSLAM utilized automatic processing in its own software. The application on the iPhone is also automatic after data collection.

Following the processing of all data, the cubic volumes of individual stockpiles were calculated, and the results were compared. A comprehensive comparison and evaluation of data processing collection took place, considering factors such as data collection time, processing application price (user licenses), processing difficulty, volume calculation difficulty, accuracy, and data-sharing possibilities. The results are presented in Figure 8.

Evaluation of the methods

After evaluating and comparing individual methods in terms of data collection speed, processing efficiency, and result accuracy, the laser scanning method emerges as the most accurate. However, this method, despite its precision, involves a longer data collection and semi-automatic processing compared to using an iPhone application. Although the data collection is rapid with the iPhone app, and the processing is automatic, the difference in the achieved results is not significant.

The conventional method of measuring stockpile volume involves the use of battens and a measuring wheel. Results indicate that the laser scanning method deviates by 1.5 percent from the average, the UAV method by 1 percent, mobile mapping by 4 percent, and manual surveying with a measuring wheel by 7 percent from the standard deviation.

The findings highlight the advantages of both photogrammetric methods over the classical measurement method, which is widely used today.

The laser scanning method (TLS) proves to be the most expensive. While data acquisition speed is moderately fast, the semi-automatic processing, maintaining overlap between individual scanner positions, requires the expertise of a surveyor.

The mobile mapping method is the most expensive regarding equipment acquisition. The data acquisition process is very fast and can only be performed by a trained worker, with the processing being semi-automatic.

Using a drone is moderately expensive, with a very fast data acquisition process that requires a trained worker. The processing, however, is automatic.

The Stockpile Report on iPhone is an extremely cost-effective option. Data acquisition is moderately fast, and the processing is automatic. The accuracy is surprisingly satisfactory, meeting the required precision for measuring stockpile volume.

Literatura – References

1. The definitive guide to SLAM & mobile mapping technologies. Bridging the gap between the physical and digital world | NavVis [online]. Copyright © 2019 MyFonts Inc [cit. 11.04.2022]. Dostupné z: https://www.navvis.com/technology/slam
2. DJI Mavic 3 - Imaging Above Everything - DJI. 302 Found [online]. Copyright © [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: https://www.dji.com/cz/mavic-3
3. ZEB Horizon: The Ultimate Mobile Mapping Solution. (n.d.-a). GeoSLAM. https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/
4. Stockpile Inventory Solutions | Every Pile, Any Time™ | Stockpile Reports. Stockpile Inventory Solutions | Every Pile, Any Time™ | Stockpile Reports [online]. Copyright © Copyright Stockpile Reports 2022. [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: https://www.stockpilereports.com/
5. ŠTRONER, Martin. 3D skenovací systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3
6. PAVELKA, Karel, Martina FALTÝNOVÁ, Zdeněk ŠVEC a Petr DUŠÁNEK. Mobilní laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05261-7
7. PAVELKA, Karel. Fotogrammetrie 20. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2762-7
8. KAŠPAR, Milan, Jiří POSPÍŠIL, Martin ŠTRONER, Tomáš KŘEMEN a Miloš TEJKAL. Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. Hradec Králové: Vega, 2003. ISBN 80-900-8603-9
9. STAŇKOVÁ, H., ŠAFÁŘ, V., DANDOŠ, R. A priori determining of the accuracy of mineral resources volume determination, Gospodarka surowcami mineralnymi, 2018, vol. 34(3),5-22
10. RUTKOWSKI W., LIPECKI T.: Use of the iPhone 13 Pro LiDAR scanner for inspection and measurement in the mineshaft sinking process, Remote Sensing, 2023 vol. 15 iss. 21 art. no. 5089, s. 1–17, https://www.mdpi.com/2072-4292/15/21/5089/pdf?version=1698142940

Walidacja metod pozyskiwania geodezyjnych danych pomiarowych składowisk

W artykule skupiono się na walidacji metod gromadzenia danych do badania składów, kluczowych w branżach takich jak budownictwo i górnictwo, począwszy od tradycyjnych metod ręcznych po zaawansowane technologie, takie jak LiDAR i drony. W badaniu oceniano dokładność i niezawodność, biorąc pod uwagę takie czynniki, jak precyzja sprzętu i przetwarzanie danych. W artykule opisano badanie różnych technik i urządzeń pomiarowych, porównując ich dokładność, użyteczność i wyniki. Praca ta podkreśla znaczenie wiarygodnych danych dla wspierania wydajności i zrównoważonego rozwoju w różnych branżach.

Słowa kluczowe: *zwałowiska, skanowanie laserowe, dron, iPhone, pomiary, obliczanie objętości*

The Cadastral Map Correction in an Undermined Cadastral Area

Marcela STANICZKOVÁ[1], Martina HULANOVÁ[2], Lukáš KUTIL[3], Pavel ČERNOTA[4], Hana STAŇKOVÁ[5]

[1] JUDr.; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: marcela.staniczkova.st@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4208-5421
[2] Ing.; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: martina.hulanova@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7333-717X
[3] Ing.; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic lukas.kutil.st@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5564-5850
[4] doc. Ing., PhD; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: pavel.cernota@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5537-5932
[5] prof. Ing., PhD; Department of Geodesy and Mine Surveying, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: hana.stankova@vsb.cz; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0013-3666

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-69

Submission date: 23-11-2023 | Review date: 29-11-2023

Abstract

This article deals with the possibilities of cadastral map correction in an undermined area. The cadastral area of Muglinov in the municipality of Ostrava was chosen as a model area. The problem of inaccuracy of maps is caused by the influence of undermining and historical development.

From the technical point of view, the way of correction consisting in surveying a larger number of identical points, using the coordinates of the position of the change points from the period after the withdrawal of mining influences and transformation by blocks using Jung's up-transformation in the way used in the restoration of the cadastral register by reworking seems to be feasible and provides good results.

Keywords: *cadastral map correction, undermining, identical points, transformation*

Introduction

When considering the solution for the correction of the cadastral map in the cadastral district of Muglinov, it is necessary to assess and realize not only how the maps were created in the cadastral district of Muglinov but also in the surrounding cadastral districts, according to [1], triangulation work in Ostrava was started as early as 1924 and continued in 1927, when triangulation points of the second to fourth order were determined. In 1926, Professor Semerád carried out triangulation in the east of the Ostrava Region for Orlová and Karviná, and in 1932, this was extended to include the so-called district triangulation, which was carried out by the then measurement authorities. Both of these triangulations were taken over by the former triangulation office of the Ministry of Finance. The triangulation work was then continued in 1935 and in 1941 and 1942 when triangulation to the fifth order was carried out in the entire Ostrava headland, which was then formed by the borders of the Protectorate of Bohemia and Moravia.

When calculating the coordinates of the triangulation points, inconsistencies in the coordinates of the given triangulation points were detected, making the calculations difficult. The cause of these discrepancies was, therefore, sought, and it was found that the orientations made on the triangulation points showed large deviations, which suggested movements of these points and, therefore, movements of the soil. The magnitude of the movements and their direction were explained in detail by Ing. Vladimír Forman in [2].

In 1949, it was decided that a new triangulation would be carried out in the areas where Professor Semerád's triangulation (1926) and the district triangulation (1932) had been carried out because it was in these areas that the greatest surface displacement was observed.

The trigonometric network was newly spread over the area at a distance of triangulation points averaging 2 km. This removed the deficiency of the 1926 grid, where 500 m long sides were interspersed with sides of several kilometres. The original triangulation points were preserved in the landscape and in the triangulation documentation, as the polygon measurements were linked to them. The new triangulation points were numbered with connecting numbers, and new triangulation sheets were created for them. The triangulation network in the western part of the Ostrava Basin was rebuilt in a similar way in 1950.

As can be seen from [1], in 1950, the whole of the then Ostrava-Karviná Coalfield was newly triangulated since triangulations were originally carried out in this area in 1924, 1929, 1932, 1935, 1944, and 1949, as already described above, and these lacked any internal connection with each other. It was found that after the alignment of the triangulation points, the mean error of the alignment increased on average by 62%, which was due to the fact that the original network, as mentioned above, was built in 6 stages between 1924 and 1949 using disparate bases, often independent of each other and with different accuracy; these triangulations were carried out by several offices, which were taken over into a single trigonometric network from 1927 onwards and recalculated in it.

According to [2], the triangulations had different densities of points, and the position of these points was changed

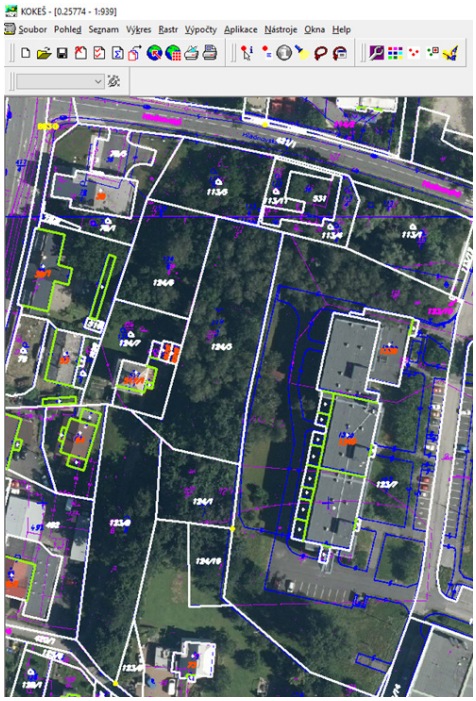


Fig. 1. Comparison of the land cadastre map, DCM from 1997 and current digital map. Legend: Purple grid: land cadastre from 1942; Blue grid: cadastral map (as of 1998); Vector drawing (contemporary digital map)

Rys. 1. Porównanie mapy katastralnej 1942 r. z aktualnym stanem (DCM od 1997 r.). Legenda: Siatka fioletowa: kataster gruntów z 1942 r.; Niebieska siatka: mapa katastralna (stan na 1998 r.); Rysunek wektorowy (współczesna mapa cyfrowa)

by subsequent undermining; some were completely lost, and others had to be relocated due to mining or construction activities, which affected their accuracy. For example, one triangulation point was relocated twice – once because of the expansion of a spoil heap and the second time because of the high-voltage lines. It was relocated by up to 250 m, with a deviation of 10 cm at this new location. Therefore, the triangulation was carried out again in 1944, but only in the territory of the so-called Protectorate of Bohemia and Moravia. However, the cadastral districts of Muglinov, Hrušov, and Heřmanice were already part of the so-called German Reich, not the Protectorate; therefore, the new triangulation was not carried out in these cadastral districts in 1944. It can, therefore, be concluded that these are cadastral districts with similar historical development, and the correction of the cadastral maps should be carried out in these cadastral districts using the same method.

Map development in the Muglinov cadastral district and surrounding cadastral districts

The Muglinov cadastral district

The map at a scale of 1:2880, St. Stephen's coordinate system, created in 1836

The map at a scale of 1:2000, according to Instruction A, created in 1942

The EN map at a scale of 1:2000, as a result of the reambulation, created in 1972

The map at a scale of 1:1000, DCM (hereinafter also referred to as the digital cadastral map), created in 2000

The Hrušov cadastral district

The map at a scale of 1:2880, St. Stephen's coordinate system, created in 1836

The map at a scale of 1:1000, according to Instruction A, created in 1934

The map at a scale of 1:1000, DCM, created in 2000

The Heřmanice cadastral district

The map at a scale of 1:2880, St. Stephen's coordinate system, created in 1836

The map at a scale of 1:2000, according to Instruction A, created in 1946

The map at a scale of 1:2000, created in 1972

The map at a scale of 1:1000, DCM, created in 2003

The technicians thus measured continuously in these cadastral districts in the field only during the creation of the map, according to Instruction A, i.e. in the years 1934–1946, after which the actual field measurements were not carried out during the reworking of the maps.

From the above, it can be further stated that the cadastral boundary between the cadastral district designated for the cadastral map correction, i.e. Muglinov, and the cadastral district of Slezská Ostrava, Moravská Ostrava and Přívoz is more accurate, since in these three cadastral districts, the DCM was created only in 2010, 2014, and 2016 in a procedure that considers the specifics of the territory more. This fact will have to be further taken into account when implementing the map correction using the transformation.

Correcting the map

The reasons for the correction of the cadastral map in the cadastral district of Muglinov are mainly due to the fact that this cadastral district is located in the territory of undermining, i.e. in the territory of mining activity. During the preparation of the district cadastral map in 2000, the surveyed

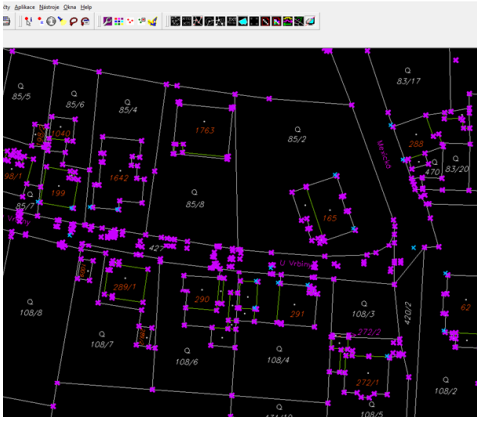


Fig. 2. Comparison of DCM points and newly located identical points
Rys. 2. Porównanie punktów DCM i nowych ich lokalizacji

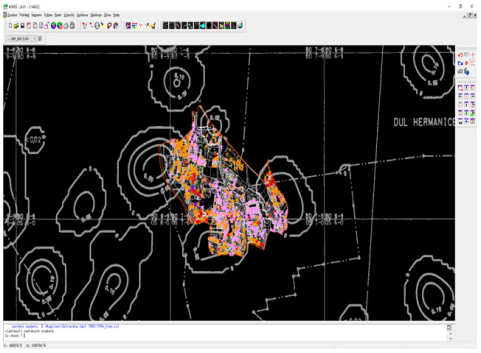


Fig. 3. Subsidence contour lines
Rys. 3. Warstwice osiadań terenu

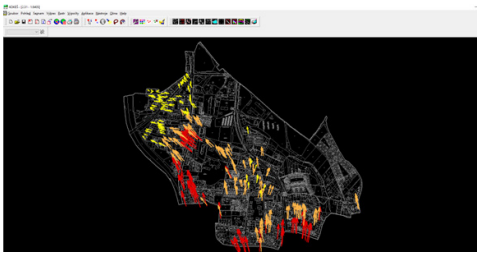


Fig. 4 The DCM after transformation
Rys. 4. DCM po transformacji

points originating from the long-term maintenance of the cadastral map and the map of the real estate registration, as well as from the maintenance of the analogue cadastral map, were used. However, 22 years have elapsed since the creation of the DCM, during which time these points have shifted due to undermining. In view of this fact, the result of the field measurements (position coordinates) does not currently correspond to the current DCM (image coordinates). The question was what approach should be taken to limit the further increase in the number of points for which different image and position coordinates are registered in the cadastre of real estate.

Legislative framework

Therefore, we first dealt with the possibility of modifying the current legislation, namely the search for an economically acceptable way to improve the conditions of cadastral map keeping in the areas affected by the deep mining of coal deposits. Deep mining is associated with mining damages and has an impact on the surface. These effects continue to reverberate for some time after the end of mining., according to the materials available to us from the Czech Mining Authority, all mining areas in the Ostrava part of the Coalfield have now been closed. Since the 1930s and 1940s, problems with the stability of points in the trigonometric network in the Ostrava Region have been described in specialist journals. Similarly, the land cadastre maps that were created in this period as a result of the new mapping, according to Instruction A were also affected. These are influenced by two factors: firstly, the inhomogeneity of the original trigonometric network and detailed position point field from the time of the map's creation with today's latest realisation of the trigonometric network from the late 1980s and early 1990s, and secondly, local movements due to the formation of subsidence basins.

Unfortunately, at present, the existing legislation on these possibilities is very scarce. The only regulation is found in [3] prov. § 95 "Areas in which, due to human or natural activities,

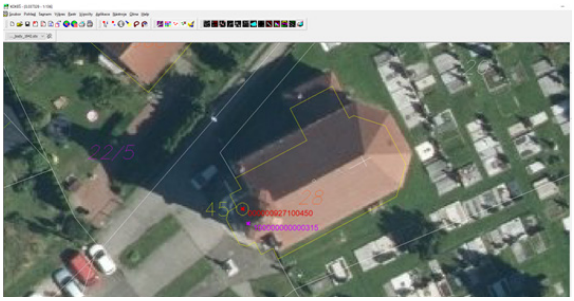


Fig. 5. The church in Heřmanic
Rys. 5. Kościół w Heřmanicach

Fig. 6. Comparison: Points from 1942 are marked in purple, and the basic point field is in red
Rys. 6. Porównanie: Kolorem fioletowym zaznaczono punkty z 1942 r., kolorem czerwonym zaznaczono podstawowe pole punktów

for example by undermining or landslide, there are shifts in the terrain that make it impossible to comply with the accuracy of the cadastral map established by this decree, shall be announced by the Cadastral Office and published by the Office on its website. In these areas, when marking the changes, the homogeneity of the detailed geometric basis shall be checked on selected identical points."

However, this single provision alone is currently insufficient for further consideration or work on remedial mapping in undermined areas and would need to be amended. It does not take into account the fact that mining has now ceased in most areas; some areas have long since calmed down, so it would be possible to correct or start correcting the existing maps in these areas.

The problem is, therefore, the legislative framework for the solution. Although it is obvious that the optimal option would be the gradual renewal of the documentation by new mapping, it would be very difficult to implement the gradual renewal of the documentation by new mapping in 60 cadastral districts of urban and industrial character. This would require a significant increase in the capacity of the Cadastral Office or the allocation of substantial resources for this work.

It was, therefore, proposed to amend Section 95 [3], which should read as follows:

§ 95

(1) Areas in which, due to human or natural activity, for example, by undermining or landslide, there are shifts in the terrain that make it impossible to comply with the accuracy of the cadastral map established by this Decree, shall be declared by the Cadastral Office and published by the Office on its website. In these areas, when marking the changes, the homogeneity of the geometric basis of the detailed measurement with the cadastral map position is checked at selected identical points.

The following paragraph (2) is inserted after paragraph (1):

(2) "In areas where displacements caused by human activity have already ceased, i.e., for example, the receding of mining influences, the Cadastral office may check the homogeneity of the cadastral map with the geodetic foundations using GNSS technology and a network of permanent stations. In the event of failure to meet the accuracy criterion referred to in point 13.7 of the Annex to this Decree at the control measurement points, the Cadastral Office may correct the cadastral map by means of transformation."

However, this proposed amendment has not yet been implemented.

Work procedure for cadastral map correction in the Muglinov cadastral district

At present, within the revision of the cadastre of real estate in the Muglinov cadastral district, we have worked on the correction of the DCM in this cadastral district and in the neighbouring similarly affected cadastral districts, i.e. the cadastral districts of Hrušov and Heřmanice. From the technical point of view, the way consisting in surveying a larger number of identical points, using the position coordinates for the change points from the period after the withdrawal of mining influences and transformation by blocks using Jung's re-transformation in the way used in the restoration of the cadastral documentation by reworking the fathom maps seems to be feasible and provides good results. With an appropriate choice of blocks, only minor changes in the areas occur, corresponding to the fact that the existing DCM contains double coordinates for most points.

In the first phase, the technical department of the Cadastral Office for the Moravian-Silesian Region (hereinafter referred to as the "TD") surveyed a total of 1,030 points in the record of detailed changes surveying (hereinafter referred to

as the "RDCS") No. 2827,, according to the selection made by our workplace, i.e. the Ostrava Cadastral Workplace (hereinafter referred to as the "Ostrava KW"), thus obtaining identical survey points.

DCM map – purple points, blue points targeted in the RDCS No. 2827 by TD, the measurements show that the identical survey points (blue) show significant deviations from the display of the corresponding points in the DCM from 2000.

By successively selecting points from the original 1030, we ensured the exclusion of points that would cause deformation, points with a large deviation in the key, points with a significant deviation between the point focused in the RDCS and the point in the DCM, some points could not be correctly identified.

The individual deviations were colour-coded, according to the resolution given above, and then the subsidence contour lines were plotted on the map, with the expectation that the magnitude of the deviations would correspond to the subsidence magnitude, confirming the hypothesis that the magnitude of the deviation is dependent on the subsidence magnitude. However, this idea was not validated in practice.

Comparison of the DCM map position results after similarity and affine transformation.

In view of the similar direction of the arrows of deviation, the question arises whether there is any systemic influence in the cadastral district.

In order to assess the impact of the redetermination of the system of the unified trigonometric cadastral network (S-JTSK), the evolution of S-JTSK coordinates was requested from the Land Surveyor's Office at least from the period 1930–1950, then 1960–1975, before the renewal of the trigonometric network and after its renewal in 1990 for seven points.

The point of the basic geodetic control (BGC) No. 45 should correctly lie in the middle of the church (in the so-called "poppy head" of the church); however, on the given DCM, it does not lie there, it is displaced. This fact probably has its historical origin in the period of World War II, when the cadastral district of Moravská Ostrava belonged to the countries of the so-called Protectorate of Bohemia and Moravia, whereas the cadastral districts of Muglinov, Hrušov and Heřmanice were already part of the so-called German Empire, not the Protectorate of Bohemia and Moravia. Therefore, a new triangulation was carried out in these cadastral districts in 1944.

As was already mentioned, during the triangulation process, this was not interconnected between the neighbouring cadastral districts, i.e. Moravská Ostrava was not interconnected with the surroundings, the triangulation was not correct, short and long sides were alternated, and many inaccuracies were created. The triangulation on the edges of the cadastral district had worse accuracy.

Since Heřmanice was a so-called living area, the completion and redetermination of the fundamental horizontal control was completed here in 1990. In the creation of the DCM by reworking the analogue map made, according to Instruction A, the original detailed horizontal control linked to the trigonometric network from the 1940s was used. The basic geodetic control is then taken from the current database of the Land Surveyor's Office. In this case, it is a new triangulation point surveying completed in 1990. The example of the point described above documents the reliability of the DCM created using the original data without modifying it to be homogeneous with today's geodetic control.

Due to the nature of the territory, it is not possible to use the method of correction used previously in other territories, i.e. to find a larger number of preserved original polygon points from the time of mapping, according to Instruction A and to re-survey them, since they are not preserved in the territory.

The source points were the coordinates from the 1940s, and the target points were today's ones – the basic geodetic control. The base point of the geodetic control in the current map is located at the edge of the church, not in the middle of the church's poppy head because nobody took care of it during the digitisation. The geodetic control of the time of the original map was used for the whole reworking, i.e. according to instruction A. From the above, it follows that the current DCM is not correct with S-JTSK.

Therefore, another transformation was carried out using 7 triangulation points in the cadastral district of Heřmanice from 1942.

The displacement between the points alone is 1.85m. This transformation confirms the assumption that the current point of the detailed geodetic control, which was given by the post-1990 coordinates, actually lies off-centre of the church because the entire DCM was reworked based on the basis of the creation of the land cadastre map in 1942. The above image shows that the given DCM map in the cadastral district of Heřmanice after this transformation to only 7 points corresponds better to the current orthophoto.

Conclusion

In conclusion, it can be stated that during the preparation of this article, a search was carried out in professional journals from the 1930s to the present day, mainly using the Geoportal of the Land Surveyor's Office, but there are not many articles on this topic.

This article focuses mainly on the problems of the geodetic basis, and the findings presented in it will be furthermore a basis for the work on map correction in the undermined area, especially in the selection of blocks for correction, selection of identical points or selection of the transformation method.

Literatura – References

1. Charvát Otakar: Výstavba Ostravska a zeměměřiči, Časopis zeměměřictví, volume 2, 12, 1952
2. Forman Vladimír: Velikost pohybů a jejich směr, Zeměměřický obzor, No. 9-10,1946
3. Decree No. 357/2013 Coll., on the Cadastre of Real Estate (Cadastral Decree)

Korekta map katastralnych na obszarze po eksploatacji górniczej

W artykule omówiono możliwości korekty mapy katastralnej na terenie pogórniczym. Jako obszar modelowy wybrano obszar katastralny Muglinov w gminie Ostrawa. Problem niedokładności map wynika z wpływu podziemnej eksploatacji górniczej i rozwoju historycznego.

Z technicznego punktu widzenia sposób korekcji, polegający na pomiarze większej liczby identycznych punktów, wykorzystaniu współrzędnych położenia punktów przemieszczonych z okresu po ustąpieniu wpływów górniczych i przekształceniu blokami z wykorzystaniem transformacji Junga, w sposób zastosowany przy przywracaniu rejestru katastralnego poprzez przetworzenie wydaje się wykonalny i daje dobre rezultaty.

Słowa kluczowe *korekta mapy katastralnej, tereny pogórnicze, punkty identyczne, transformacja*

Tests of Cement and Slag Mortars with SBR Rubber Granulates in Terms of Ecotoxicity and Strength

Beata GRYNKIEWICZ-BYLINA[1)], Barbara SŁOMKA-SŁUPIK[2)], Bożena RAKWIC[3)]

[1)] KOMAG Institute of Mining Technology, Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Poland; email: bbylina@komag.eu; ORCID ID: 0000-0002-6028-520X
[2)] Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, Akademicka 5, 41-100 Gliwice, Poland; email: barbara.slomka-slupik@polsl.pl; ORCID ID: 0000-0001-6112-4494
[3)] KOMAG Institute of Mining Technology, Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Poland; email: brakwic@komag.eu; ORCID ID: 0000-0002-9535-8886

http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-71

Submission date: 21-11-2023 | Review date: 30-11-2023

Abstract

Various solutions for the management of rubber waste from used tires are known. We encounter in particular tests of concrete mixtures and the finished product, in the literature. These tests are describing rheological, mechanical and durability properties, mainly. However, the high toxicity of rubber waste from car tires requires that such concrete be tested in terms of ecotoxicology. The paper presents the results of research on the use of three different SBR granulates as fillers in mortars with a slag or CEM IV cement binder. The focus was on the immobilization of harmful compounds from rubber granules in the binder mass. It was assumed that the construction product using mortar with rubber granules would be in contact with water. The mass share of granulates in mortars was 4.7%. The grain size of the granulates was up to 4 mm, mainly 1–3 mm. A decrease in the strength of mortars with the addition of granulates and no leaching of polycyclic aromatic hydrocarbons from mortars was demonstrated. The metals from the mortars were absorbed by the rubber, most probably. The strength of slag mortars was greater than cement mortars.

Keywords: *CEM IV, activated slag mortar, SBR rubber granulate, PAHs, toxicity, leaching*

1. Introduction

Used car tires are a huge ecological problem due to their increasing quantity. Tires are made from rugged, hard-wearing rubber, so disposing of them is a major environmental challenge. They cannot be easily recycled, are difficult to reuse, break down into crumbs causing an increase in the content of microplastics in the environment [1–5]. Pilkington [2] emphasizes that the United States alone disposes of 246 million to 300 million used tires each year. Globally, the problem is quantified at between 1 billion and 1.8 billion used tires every year. This makes up between 2% and 3% of all the waste collected on Earth [2]. This problem will increase as the world's population grows – especially as the growing middle class population in poorer countries creates a larger market for personal transportation [2]. According to the report of the World Bank (2019) entitled "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050" [6] an increase in waste generation of up to 70% was expected by 2050. From 2.01 billion tons in 2016, a total of 3.4 billion tons of annual waste was projected for the year 2050. Thus, the problem of tire waste disposal is quite serious. Due to the growing problem with waste tires worldwide, researchers are now focused on preparing rubberized concrete a widely used, greener construction material [2,3,7]. They combine with various binders shredded used tires as aggregate in varying degrees of filling and grinding, depending on the desired properties and designation [8]. Tire-derived aggregates (TDA) have been gaining more and more popularity in recent years [9]. Studies give different results. First research on rubberized concrete in the 1990s [8] found that the addition of rubber to a concrete mixture decreased the material's flexural and compressive strengths. It was also shown that cracking in concrete occurred more frequently than in conventional concrete due to the poor adhesion between rubber materials and other components of the concrete [2].

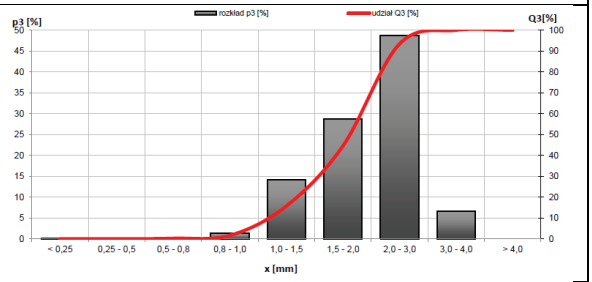
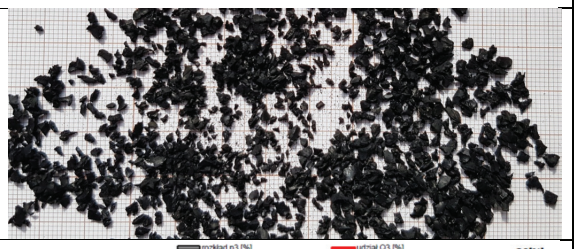
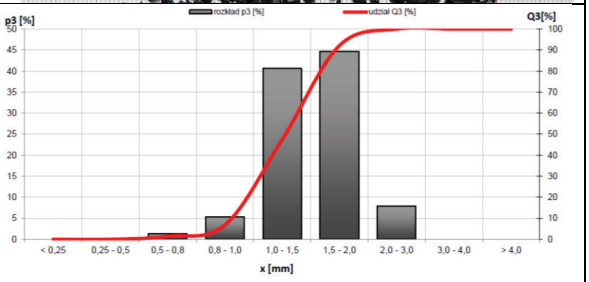
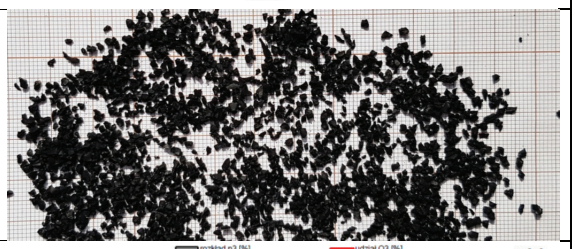
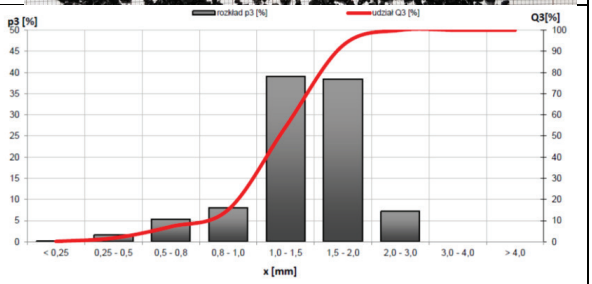
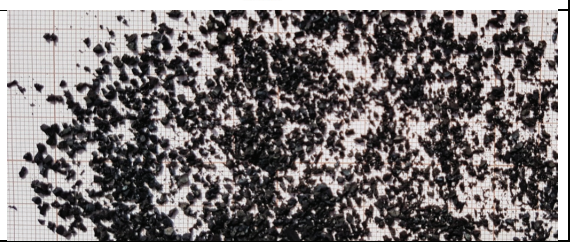
On the other hand, researchers found that, compared with conventional concrete, rubberized concrete displayed high toughness, a good capacity for plastic energy, strong durability, low porosity, abrasion resistance, and low density. Recent advances in rubberized concrete studies (9-16) have found that, it displays better crack resistance than conventional concrete. This kind of concrete is also more resistant to tensile stresses than conventional concrete, and is relatively flexible, which means it can withstand heavy impacts more effectively [2,10]. Moreover it was also found that mechanical strength of concrete with the addition of rubber is improved by the use of silica fume [11]. An exemplary studies on the durability of concrete with the addition of rubber have shown that with 7.5% of the addition, less chloride penetration is obtained [9]. In most cases, concrete with rubber granulate was tested for strength, sorption and durability characteristics. Researchers were focusing on the effectiveness of binding the rubber to the binder as well [12-17].

However, there are few works that pay attention to the interaction of this concrete with the natural environment. Such concrete can be in contact with groundwater, rainwater, technological water, which can cause leaching of various compounds from it. This concrete will then be stored as demolition waste in landfills or used to strengthen the ground.

An example all-season van tire contains approximately 30 types of synthetic and 8 natural rubbers, 8 types of carbon

Tab. 1. Grain size of SBR granules, fraction share and photos of granulates on graph paper

Tab. 1. Uziarnienie granulatów SBR, udział frakcji i fotografie granulatów na papierze milimetrowym

SBR type	Fraction share, mm			Particle size distribution and cumulative size distribution
	D10	D50	D90	
SBR-C	1.35	2.08	2.87	
				
SBR-D	1.07	1.52	1.96	
				
SBR-F	0.88	1.46	1.94	
				

black and 40 different chemicals, waxes, oils, pigments, silica and clays [1,17–20]. According to ETRMA [19], tires contain an exemplary composition: rubber/elastomers (48%), carbon black (22%), metal (15%), additives (8%), textiles (5%), zinc oxide (1% passenger tires or 2% truck and off-road tyres), sulfur (1%). Ultimately, the tire consists of rubber, which accounts for about 70–80% of the tire weight, steel and textile fibers [21].

Literature data indicate that in recycled tire granulates there may be chemicals that are toxic to human health and the environment [22–30]. Their source may be raw materials of inadequate quality used to produce rubber mixtures or

Tab. 2. Chemical composition of cement and slag, %mas [*ND – not detected]

Tab. 2. Skład chemiczny cementu i żużla, %mas [*ND – nie wykryto]

Component	GGBFS	CEM IV
SiO_2	40.43	32.99
CaO	43.27	34.88
Al_2O_3	7.88	15.05
Na_2O	0.46	0.41
Fe_2O_3	0.81	4.57
MgO	6.97	1.56
K_2O	0.29	1.66
TiO_2	0.28	ND
MnO	0.16	ND
P_2O_5	0.02	ND
Cr_2O_3	0.01	ND
ZrO_2	<0.01	ND

Tab. 3. Composition of mortar mixtures and volumes of SBR granules

Tab. 3. Skład mieszanek zapraw i objętości granulatów SBR

Mortar	CEM IV, g	Water, g	Sand, g	Granulate, g	Granulate type	Bulk volume of granules, ml
GK-A	450	225	1350	0	-	-
GK-C	450	225	1350	100	SBR-C	175
GK-D	450	225	1350	100	SBR-D	160
GK-F	450	225	1350	100	SBR-F	200
Mortar	**GGBFS, g**	**Activating water, g**	**Sand, g**	**Granulate, g**	**Granulate type**	**Bulk volume of granules, ml**
GK-A′	450	240	1350	0	-	-
GK-C′	450	240	1350	100	SBR-C	175
GK-D′	450	240	1350	100	SBR-D	160
GK-F′	450	240	1350	100	SBR-F	200

Tab. 4. Concentration of PAHs and leachability of zinc from SBR granulates, mg/kg [*ND – not detected]

Tab. 4. Zawartość wwa i wymywalność cynku z granulatów sbr, mg/kg [*ND – nie wykryto]

Granulate	PAHs content					Zn leachability
	BghiP	Phenanthrene	Fluoranthene	PYR	Naphthalene	
SBR-C	4.67	2.14	7.32	16.4	0.000	2.38
SBR-D	2.64	ND	ND	8.56	0.683	1.43
SBR-F	4.84	1.50	6.09	19.6	0.538	2.66

contamination of the rubber vulcanization process or tire recycling [31–33]. These substances include polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals such as Pb, Cd, Hg, Cr, Zn and Sn. PAHs, Pb, Cd i Hg are classified according to Regulation (EC) No. 1272/2008 of the European Parliament and of the Council (EC) No. 1272/2008 – CLP, as substances that are carcinogenic and posing a threat to the aquatic environment [34].

The mentioned substances may be washed out and released into the environment with groundwater. After entering the environment, they do not biodegrade, accumulate in living organisms and may negatively affect their organs and systems [35]. Exemplary leaching tests carried out by Grynkiewicz-Bylina et al. [1] of 84 samples of rubber granulate taken from the surface of sports fields or delivered by recyclers in Poland indicated the excessive content of PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) specified in the REACH Regulation [36].

Due to the lack of legal regulations specifying the criteria for assessing cement and slag mortars with rubber granulates in this work included criteria for admitting inert waste to landfills for heavy metals, including permissible limit values for their leaching set out in the Council Decision of 19 December 2002 [37]. The permissible leaching limits are as follows: Hg: 0.01 mg/kg; total Cr: 0.5 mg/kg; Zn: 4 mg/kg; Cd: 0.04 mg/kg; Pb: 0.5 mg/kg.

Harmful substances may also be present in blastfurnance slag, as indicated by research conducted by Giergiczna et. al [38].

For the above reasons, there is a belief that concrete with granulate is dangerous.

The gaps in testing the ecotoxicology of concrete with TDA are the reason for creating stereotypes that prevent the use of such concrete in construction. De Maeijer et al. [17] after a detailed study of the literature in the field, noticed that there is little research on the ecotoxicological impact of rubber granulate, which represents a huge gap in knowledge.

A leaching study of 8 concrete mixtures with rubber granulate by Kardos and Durham [39] indicated that the concentration of both leached metals and volatile organic compounds was below acceptable limits. These concrete mixtures was made of Portland cement with fly ash and chemical admixtures. Other studies indicate that the reaction of the environment in which the rubber granulate is located can have a large impact on leaching. For example, trace metals can be more easily extracted from rubber under acidic conditions, and the amount of dissolved organic carbon increased significantly under alkaline conditions [17].

Therefore, it was decided that further tests of hardened mixtures of building binders with the use of these granules must be subjected to leaching tests of toxic chemical substances. The complex microstructure of the binder matrix can immobilize toxic metals [17,39].

In this work CEM IV and activated granulated blast furnace slag (GBFS) was used as a binders as a less emissive, to increase the ecological index on both sides. It is true that currently in Europe there is a trend of liquidation of blast furnace processes, but this research on a global scale is up to date.

Work [40] presents research using slag and tire granules in concrete, however, slag was used as a 20% binder substitute, and the basic binder was Ordinary Portland Cement (OPC). Akram et al. [40] replaced the natural aggregate with rubber granulate in the amount of 5, 10, 20 and 30% of the concrete volume. They investigated rheological, mechanical and dura-

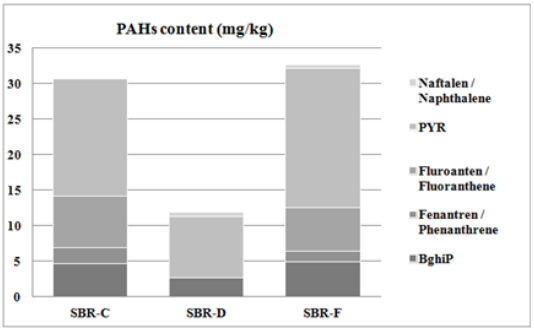


Fig. 1. The sum of PAHs concentration in granulates (SBR-C to SBR-F), mg/kg
Rys. 1. Suma zawartości WWA w granulatach (SBR-C do SBR-F), mg/kg

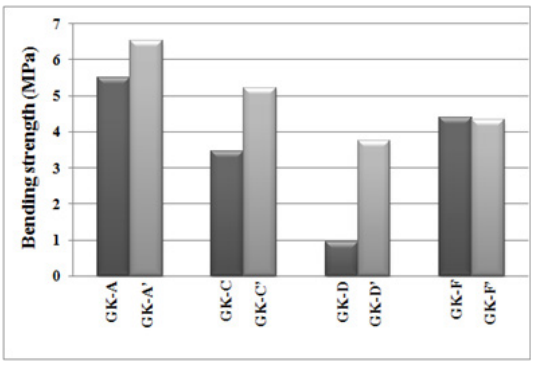


Fig. 2. Results of bending strength of cement mortars (G-KA to GK-F) and slag mortars (GK-A' to GK-F')
Rys. 2. Wytrzymałość na zginanie zapraw cementowych (G-KA do GK-F) i żużlowych (GKA' do GK-F')

bility properties. They found that the strength decreases with the increase in the granule content due to the low cohesion of the rubber with the cement paste, and that the use of slag increased the resistance to acid attack. They calculated also that concrete with slag and rubber granules can be more efficient: it reduces workability, reduces flow, has lower CO_2 emission, lower costs, lower energy and water requirements. The exemplary strength of the samples tested at day 28 increased from 11.6% to 23.2, 34.8 and 39.5% with an increase in the degree of replacement from 5% to 10, 20 and 30%, respectively, relative to the not modified concrete samples with CEM I without rubber granules.

In work [41], in turn, the influence of the addition of styrene-butadiene copolymer (SBR) on the early hydration of cement was investigated. Studies have shown that the SBR copolymer delays the setting of cement.

2, Materials and Methods

The research began with verifying the type of material used to make samples of ground black rubber granules (GK-C, GK-D and GK-F) obtained from the recycler. For this purpose, the identification of plastic in rubber granules was carried out using the pyrolytic thermal desorption method coupled with gas chromatography with mass spectrometry detection (TD-Pyr GC-MS) according to [42], based on the presence of fragmentation products. This method was chosen, because it allows the identification of organic compounds directly from the sample without the long-term and labor-intensive preparation process, required in other methods, such as Raman microscopy (RM) or Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) [43].

The content of 15 PAHs was determined in the granulate samples: benzo[a]pyrene BaP, dibenz[a,h]anthracene DBAhA, benzo[e]pyrene BeP, benz[a]anthracene BaA, chrysene CHR, benzo[b]fluoranthene BbFA, benzo[j]fluoranthene BjFA, benzo[k]fluoranthene BkFA, indeno[1,2,3-cd]pyrene IcdP, benzo[ghi]perylene BghiP, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene and naphthalene. The determination was performed by gas chromatography with tandem mass spectrometry (GC-MS/MS) using a gas chromatograph coupled with a GCMS/MS/7890B/7000C mass detector. This method was selected due to the high sensitivity and selectivity achieved for low levels of PAHs using GC-MS/MS compared to other commonly used analytical techniques such as high-performance liquid chromatography (HPLC) combined with a UV, fluorescence or diode-array detector (DAD).

The grain size analysis of 3 types of rubber granulates was performed on the basis of the ISO 13320:2009 [44] laser diffraction method. This method is applicable to particle sizes ranging from 0.1 μm to 3 mm. The study was conducted in isopropanol using a Horiba LA-300 device. The results are presented in Table 1.

The ground granulated blast furnace slag had a specific surface area of 3850 cm2/g according to Blaine. The use of slag as a binder required the use of an alkaline activator, which was sodium metasilicate in an amount of 5% in relation to the weight of the slag, as in [45]. Using X-ray diffraction, it was confirmed that the slag contained approximately 98% of the amorphous phase. The cement marked CEM IV/B(V)32.5N is a pozzolanic cement, according to EN-197-1, with normal early strength, consisting of clinker (40-60%), silica fly ash (max. 55%) and gypsum (3–5%).

To determine chemical composition of cement and GGBFS grounded to a grain size less than 100 μm and dried at 105°C to constant weight, the X-ray fluorescence method

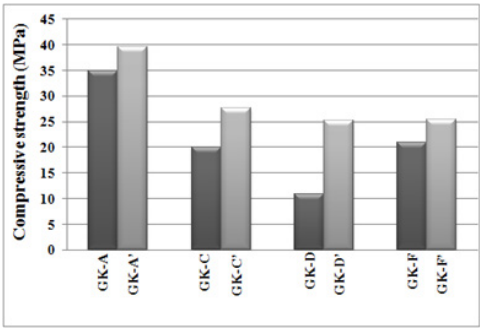


Fig. 3. Results of compressive strength of cement mortars (G-KA to GK-F) and slag mortars (GK-A' to GK-F')
Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych (G-KA do GK-F) i żużlowych (GKA' do GK-F')

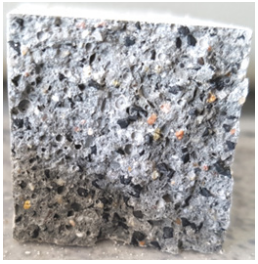


Fig. 4. 4×4 cm fracture of the GK-D cement mortar beam after bending strength test with visible black SBR-D rubber granules
Rys. 4. Przełam zaprawy cementowej GK-D po badaniu wytrzymałości na zginanie z widocznymi czarnymi granulami gumowymi SBR-D

(XRF) was used, according to PN-EN ISO 12677:2011 [46]. The chemical composition analysis was performed using a MagiX PW2424 spectrometer produced by PANalytical. The chemical composition of cement and slag is given in Table 2.

Then, mortar mixtures were made with the composition given in Table 3, using distilled water and standard sand with the trade name Kwarcmix (PN-EN 196-1).

The rubber granulate was mixed with sand first, and then the procedure was followed according to the rules of PN-EN 196-1. Bars measuring 4×4×16 cm were formed. Mortars marked "A" did not contain granulates, and the remaining mortars contained SBR granules with similar grain sizes, and each of them was added to the mortar in the same mass quantity. The bulk volumes of the granulates were different, as shown in Table 3. After demoulding, the mortar bars were conditioned at a temperature of 20±2°C and protected against moisture loss. The strength test was carried out in accordance with the standard [47]. Cement mortars were tested after 28 days, and slag mortars were tested after 14 days.

The leachability of harmful substances was tested for granules and for mortars after 2 months of hardening.

The leachability of the following metals was determined in the granulates: Hg, total chromium (Cr) and hexavalent (Cr(VI)), Zn, Cd, Sn and Pb. The leachability of 15 PAHs was determined in mortars. Content of PAHs in granulates was tested, as well.

Shredded samples of SBR granulates and mortars were dynamically washed with deionized water according to PN-EN 12457-4:2006 [48]. The pH value of the water used for leaching did not exceed 6.7.

Determination of leachability of elements: total Cr, Zn, Cd, Sn, Pb from mortars was carried out by the inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method with the use of Agilent 7900 ICP-MS. This method is characterized by a low limit of quantification and high selectivity, which enables the simultaneous determination of many elements in complex matrices, such as trace amounts of rare earth elements (REE) in waste [49].

The leachability of Cr(VI) from rubber granules was determined by high-performance liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS) using Agilent 7700 Series ICP-MS with Agilent 1260 Infinity series HPLC.

Cold-vapor atomic absorption spectroscopy (CV-AAS) with the Perkin Elmer FIMS 100 mercury analyser was selected for the Hg leaching study due to the use of a unique technique of mercury vapour measurement at room temperature.

The leachability of PAHs from mortars was determined by gas chromatography with tandem mass spectrometry [GC-MS/MS] used to determine the PAH content in granulates, as well.

3. Results

Plastic identification results. The tests carried out using the TD-Pyr GC-MS method showed in granulate samples the presence of: 1,3-butadiene, toluene (TO), 4-vinylicyclohexene (D), styrene (S), α-methylstyrene, C12H18 (B trimer), C12H14 (SB hybrid dimer), C16H12 (SBB hybrid dimer), which are SBR fragmentation products. Therefore, based on the obtained test results, it was found that the used granulates are SBR, i.e. styrene-butadiene rubber used for the production of tires in the vulcanization process.

The results of testing the PAH content in rubber granulates given in Table 4, include values other than zero only. The sums of PAHs content in granulates are shown in Figure 1. Analyzing the above results, it can be concluded that the tested granulates contained 3 to 5 PAHs (BghiP, phenanthrene, fluoranthene, PYR, naphthalene). The highest total PAH content was recorded for SBR-F granules (32.6 mg/kg) and the lowest for SBR-D granules (11.9 mg/kg).

Tab. 5. Leachability of metals from mortars, mg/kg [*nd – not detected]

Tab. 5. Wymywalność metali z zapraw, mg/kg [*nd – nie wykryto]

Mortar	Hg	Cr(VI)	Cr_{total}	Zn	Cd	Sn	Pb
GK-A	0.00100	0.000080	0.0233	nd	nd	nd	0.0767
GK-C	0.00095	nd	nd	nd	nd	nd	0.0367
GK-D	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.0333
GK-F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.0433
GK-A'	-	nd	nd	0.283	nd	nd	nd
GK-C'	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd
GK-D'	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd
GK-F'	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd

The results of testing the grain size of rubber granulates are presented in Table 1. As can be seen, the granulate called SBR-C has the largest granulation, and SBR-F the smallest granulation, and therefore the largest specific surface, which could not be determined due to the no stiffness of the matrix. SBR-D and SBR-F granules have dimensions in the range of 1.0–2.0 mm (approx. 80%), while SBR-C granules had dimensions of 1.0–4.0 mm (90%).

When comparing the chemical composition of cement and slag, one can notice a great similarity in composition. There was slightly more aluminum in the cement, by about 7%, while the slag binder contained more magnesium, silicon and sodium (due to the use of an activator after mixing).

The results of the mortar strength test are presented in Figure 2 and Figure 3. Slag mortars have the prime symbol. The research shows that although the hardening time of cement mortars was longer, they obtained lower strength than slag mortars. The addition of granules in the amount of 7.4% by mass compared to the mixture, contributed to a reduction in flexural and compressive strength for each mixture. Bending strength of slag mortars decreased by about 20–40% and the compressive strength by about 20–36%. In turn, in the case of cement mortars, the bending strength decreased by approximately 18–80% and the compressive strength by approximately 40–70%. It should be additionally emphasized that after breaking the bars, it was difficult to separate its halves. This proves good adhesion of rubber granules to binders.

The quality of the granules had a significant impact on the mechanical properties of mortars. Granules made of rubber with the highest density (SBR-D) and the smallest grain size variation had the lowest bending strength value. Probably due to their compact microstructure, they were least consistent with the binder matrix. In contrast to SBR-C granules, the grain size of which was more varied and included even a 3-4 mm fraction. The cement mortar that achieved the highest strength, both in bending and compression, was the one using the smallest granules (SBR-F). This was most likely due to their large number and the most developed specific surface. However, the slag mortar worked best with SBR-C granules, and this mixture (GK-C') achieved the highest strength values of all mixtures with SBR granules.

Figure 4 shows a photo of an exemplary fracture of the GK-D cement mortar beam with visible rubber granules.

The results of the leachability of harmful substances from granules and mortars are presented in Tables 4 and 5.

Despite many tests described in the point above, Tables 4 and 5 include only those values that were partly different from zero in a given series of determinations. In the remaining examinations, the compounds were not detected or were at the detection level. The most frequently leached metal from SBR granules was zinc, which is the first to be responsible for the increased toxicity of leachates from used tire granules [17] because it is used as a vulcanization activator. Among determined metals: total Cr, Zn, Cd, Sn, Pb, Cr(VI) and Hg, only Zn was washed from the granulates, and additionally Hg, Cr(VI), total Cr and Pb were washed from the mortars. Therefore, these elements came from binders.

Referring the obtained test results to the permissible limit values for metal leaching for inert waste permitted for storage in inert waste landfills [37], no exceedances were found for mortars.

It should be noted here, the work focuses on investigating the toxicity caused by the rubber granulates, and the results show that the granulates contributed to the reduction the leachability of metals. This was most likely due to the sorption properties of the granules. Only mercury present in the cement mortar GK-A was also present in the mortar with granules (GK-C). The amount of Pb washed from cement mortars was reduced by approximately 60-40% thanks to the use of rubber granules.

PAHs contained in SBR granules, including BghiP, phenanthrene, fluoranthene, PYR, naphthalene, were not washed out of the mortars.

4. Summary

The key feature of rubberized concrete is its huge potential for environmental benefit. There are few solutions available for the growing tire waste problem. Thus the rubberized concrete may be a viable way to close this large waste loop. Granulated concrete has a number of desirable properties such as lower density, higher durability and higher impact resistance compared to conventional concrete. The flexibility of concrete with rubber granulate dedicates it to impact-absorbing applications. So it can be used as shock absorber in road construction and as earthquake wave damper in buildings [6]. Concrete with rubber granules is also a good sound absorber. Rubber granulate concrete is very well suited for the production of footings and slabs, which, for example, in Australia makes up 40% of all concrete consumption [2].

Test results indicate that the granules in the mixture reduce the strength, which in turn will require the use of a higher-strength binder. Therefore, each time the design of concrete should be individually approached depending on its application.

We also need to work on special methods of preparing granules to optimize a composition of such kind of concrete and its manufacturing processes. Pretreating of rubber particles with

chemical or mechanical treatments could improve cohesion with concrete particles and result in a stronger final material.

In a further stage of research, it is also planned to check the effectiveness of sorption of salts and mineral impurities in external plasters thanks to the addition of SBR or EPDM granules. It is also assumed to check the impact of granules in the mortar on the environment during a fire. Another research goal is to examine odorous compounds released from granulates and mortars containing granulates. To confirm the lack of ecotoxicity of mortars with rubber granules containing PAHs, due to the low solubility of these compounds in deionized water, which is the standard leaching liquid, it is planned, as part of further research, to leach them using a liquid simulating the chemical composition of the liquid in pores of mortars, i.e. strong bases and water activating the slag.

5. Conclusions

The results of the tests confirm the possibility of using rubber granulates in construction mortars. The mortars are not harmful to the environment. SBR granules make the mortar matrix coherent and do not separate under the influence of external forces.

The use of a filler in the form of rubber granules, in the amount of 4.7% of the total mass, reduced the strength of both cement and slag mortars. Slag mortars were characterized by greater durability.

Granules, not much different at first glance, turned out to have different properties. Therefore, rubber granulate collected even from one recycler cannot be treated in the same way due to different processing methods, types of tires and their wear. This is visible in the case of SBR-C granulate, which cooperated best with the slag binder, obtaining the highest strength, and in the case of SBR-F granulate, which provided the highest strength in the cement binder, but only in bending.

The aim of the study was to check the toxicity of rubber granules, but metals contained in the cement binder were absorbed by the granules. The mortars themselves turned out to be non-toxic. This allows us to claim that the granules contribute to increase environmental friendliness of mortars with rubber granules.

Conducting chemical analyzes for toxicity assessment purposes requires the use of advanced analytical techniques characterized by high sensitivity and low detection limits, due to the trace amounts of the chemical substances being determined.

Polycyclic aromatic hydrocarbons present in the SBR granulates were not detected in the mortar filtrates.

The lowest content of PAHs in SBR-D granules and the lowest strength of mortars with this granulate suggest the existence of a relationship. These relationships cannot be ruled out, but they cannot be confirmed at this stage of research, as well.

Literatura – References

1. B. Grynkiewicz-Bylina, B. Rakwic, B. Słomka-Słupik, Tests of rubber granules used as artificial turf for football fields in terms of toxicity to human health and the environment. Sci. Rep. 12, 6683 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-10691-1
2. B. Pilkington, A Closer Look at Mixing Rubber into Concrete. Available from 12-May-2022. https://www.azobuild.com/article.aspx?ArticleID=8543
3. B. Pilkington, Tackling the Global Tire Waste Problem with Pretred. (2021). AZO CleanTech. Available online at: https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1227
4. European Chemicals Agency ECHA. Opinion on an Annex XV Dossier Proposing Restrictions on Intentionally-Added Microplastics. Committee for Risk Assessment (RAC), Committee for Socio-economic Analysis (SEAC). ECHA/RAC/RES-O-0000006790-71-01/F, ECHA/SEAC/RES-O-0000006901-74-01/F (2020).
5. S. Wagner, T. Hüffer, P. Klöckner, M. Wehrhahn, T. Hofmann, T. Reemtsma, Tire wear particles in the aquatic environment - A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. Water Res. 139, 83-100 (2018). https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051
6. World Bank report "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050" (World Bank, 2019). https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/92a50475-3878-5984-829e-0a09a6a9badc/content
7. J. Xue, M. Shinozuka. Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability. Constr. Build. Mater 42, 196-204 (2013). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813000688?via%3Dihub
8. A. Al-Balhawi, N.J. Muhammed, H.A. Mushatat, H.N.G. Al-Maliki, B. Zhang, Numerical Simulations on the Flexural Responses of Rubberised Concrete. Buildings 12(5):590 (2022). https://doi.org/10.3390/buildings12050590
9. Z. Zarhri, W.R. Martinez, J.A.D. Lepe, R.E.V. Azamar, M.C. Juarez, B.B.P. Solis, 30 years of rubberized concrete investigations (1990-2020). A bibliometric analysis, Revista ALCONPAT 12 (1), 127-142 (2022). https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554
10. N.N. Gerges, C.A. Issa, S.A. Fawaz, Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties. Case Studies in Con. Mater. 9, e00184, ISSN 2214-5095 (2018). https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00184.
11. B.H.A. Aleem, A.A.A. Hassan, Development of self-consolidating rubberized concrete incorporating silica fume, Constr. Build. Mater. 161, 389-397, ISSN 0950-0618 (2018). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.146
12. Y. Jiang, S. Zhang, G. Xue, W. Wang, Compressive behavior of rubberized concrete under high strain rates. Structures 56, 104983, ISSN 2352-0124 (2023). https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.104983
13. N. Yasser, A. Abdelrahman, M. Kohail, A. Moustafa, Experimental investigation of durability properties of rubberized concrete. Ain Shams Eng. Journal 14, 6, 102111, ISSN 2090-4479 (2023). https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102111
14. D.F. Medina, C.H. Martínez, N.F. Medina, F. Hernández-Olivares, Durability of rubberized concrete with recycled steel fibers from tyre recycling in aggresive enviroments. Con. Build. Mater. 400, 132619 ISSN 0950-0618 (2023). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132619
15. Q. Guan, Y. Xu, J. Wang, Q.Wu, P. Zhang, Meso-scale fracture modelling and fracture properties of rubber concrete considering initial defects. Theoretical and Applied Fracture Mechanics 125, 103834, ISSN 0167-8442 (2023). https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2023.103834
16. H. Momotaz, M.M. Rahman, M.R. Karim, Y. Zhuge, X. Ma, P. Levett, Properties of the interfacial transition zone in rubberised concrete – an investigation using nano-indentation and EDS analysis. J. Build. Enging. 77, 107405, ISSN 2352-7102 (2023). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107405
17. P.K. Maeijer, B. Craeye,J. Blom,L. Bervoets, Crumb Rubber in Concrete—The Barriers for Application in the Construction Industry. Infrastructures 6, 116 (2021). https://doi.org/10.3390/Infrastructures6080116
18. V. Lapkovskis, V. Mironovs, A. Kasperovich, V. Myadelets, D. Goljandin, Crumb Rubber as a Secondary Raw Material from Waste Rubber: A Short Review of End-Of-Life Mechanical Processing Methods. Recycling 5, 32 (2020). https://doi.org/10.3390/recycling5040032
19. ETRMA. European Tyre and Rubber Industry—Statistics; ETRMA: Brussels, Belgium, 2014.
20. A. Kailash, V. Mrudul, M. Tajedini, P. G. Xavier, E. Bardasz, M.J. Green, H.Liang, Impacts of particles released from vehicles on environment and health. Tribology International 184, 108417 (2023). ISSN 0301-679X. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108417
21. M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, A. Balas, Progress in used tyres management in the European Union: A review. Waste Management 32, 10, 1742-1751 (2012). ISSN 0956-053X. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.010

22. B. Bocca, G. Forte, F. Petrucci, S. Costantini, P. Izzo, Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas. Science of The Total Environment 407(7), 2183-2190 (2009). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.026

23. M. Beausoleil, K. Price, C. Muller, Chemicals in outdoor artificial turf: A health risk for users. Public Health Branch. Montreal Health and Social Services Agency (2009). https://ncceh.ca/sites/default/files/Outdoor_Artificial_Turf.pdf

24. E. Menichini, V. Abate, L. Attias, S. De Luca, A. di Domenico, I. Fochi, G. Forte, N. Iacovella, A. L. Iamiceli, P. Izzo, F. Merli, B. Bocca, Artificial-turf playing fields: Contents of metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment. Science of the Total Environment 409, 23, 4950-4957 (2011). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.042 (2011).

25. F.P. Gomes, H.I. Mota, J.C.M. Bordado, M. Baião, G.M. Sarmento, J. Fernandes, V.M. Pampulim, M.L. Custódio, I. Veloso, Toxicological Assessment of Coated versus Uncoated Rubber Granulates Obtained from Used Tires for Use in Sport Facilities. Journal of the Air & Waste Management Association 60, 741–746 (2012). https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.6.741

26. M. Llompart, L. Sanchez-Prado, J. P. Lamas, C. Garcia-Jares, E. Roca, T. Dagnac, Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers, Chemosphere 90, 423-431 (2013). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.053

27. A. Niesłochowski, H. Deptuła, Environmental tests of playground surfaces containing recycled rubber granulate. Przegląd Budowlany 10, 41-44 (2017), in Polish. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-0b10a26c-5877-4dd2-93cc-0fb4d0c1783c

28. M. Celeiro, T. Dagnac, M. Llompart, Determination of priority and other hazardous substances in football fields of synthetic turf by gas chromatography-mass spectrometry: A health and environmental concern. Chemosphere 195, 201-211 (2018). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.063

29. A.N. Perkins, S.H. Inayat-Hussain, N.C. Deziel, C.H. Johnson, S.S. Ferguson, R. Garcia-Milian, D. C. Thompson, V. Vasiliou, Evaluation of potential carcinogenicity of organic chemicals in synthetic turf crumb rubber. Environmental Research 169, 163–172 (2019). https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.018

30. F.O. Gomes, M.R. Rocha, A. Alves, N. Ratola, A review of potentially harmful chemicals in crumb rubber used in synthetic football pitches. Journal of Hazardous Materials 409, 124998, ISSN 0304-3894 (2021). https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124998

31. ECHA, Annex XV Report. An evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields. version 1.01. European Chemicals Agency (2017) https://echa.europa.eu/documents/10162/13563/annex-xv_report_rubber_granules_en.pdf/dbcb4ee6-1c65-af35-7a18-f6ac1ac29fe4

32. A. Re Depaolini, G. Bianchi, D. Fornai, A. Cardelli, M. Badalassi, C. Cardelli, E. Davoli, Physical and chemical characterization of representative samples of recycled rubber from end-of-life tires. Chemosphere 184, 1320-1326 (2017). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.093

33. K. Formela, Waste tire rubber-based materials: Processing, performance properties and development strategies, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research 5, 234-247 (2022). https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.06.003

34. European Parliament, Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006, OJ L 353, 31.12.2008, p. 1-1355 with further amendments, http://publications.europa.eu/resource/cellar/e3f31046-b274-11eb-8aca-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1 (accessed on 3 October 2023)

35. A. Ociepa-Kubicka, Toxic effects of heavy metals on plants, animals and humans, Engineering and Environmental Protection 15, 2, 169-180 (2012), in Polish. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-LODD-0002-0015

36. European Parliament, Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, OJ L 396 30.12.2006, p. 1 with further amendments, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006R1907-20230806 (accessed on 3 October 2023)

37. Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC, OJ L 011 , 16.01.2003 p. 0027 – 0049, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003D0033&qid=1696348429653 (accessed on 3 October 2023).

38. E. Giergiczny, K. Góralna, Mielony granulowany żużel wielkopiecowy - dodatek do betonu typu II. Budownictwo Technologie Architektura 1 56-59 (2008). http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BTB2-0059-0097

39. A.J. Kardos, S.A. Durham, Strength, durability, and environmental properties of concrete utilizing recycled tire particles for pavement applications. Con. Build. Mater. 98, 832-845 (2015). ISSN 0950-0618. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.065

40. A.M. Mhaya , G.F. Huseien, A.R. Z. Abidin, M. Ismail, Long-term mechanical and durable properties of waste tires rubber crumbs replaced GBFS modified concretes. Con. Build. Mater. 256, 119505 (2020). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119505

41. R. Wang, X. Shi, Influence of styrene-butadiene rubber latex on the early hydration of cement. Cement Wapno Beton 21/83, 1, 36-45 (2016). http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-de8defdf-2500-4a91-a30f-11fcfe4044fd?q=49062ca2-624b-4dc7-84f7-ee6233e45929$4&qt=IN_PAGE

42. S. Tsuge H. Ohtani, W. Chuichi, Pyrolysis-GC/MS data book of synthetic polymers Programs, Thermograms and MS of Pyrolyzates, 1st Edition, 2011.

43. J. Reichel, J. Graßmann, T. Letzel, J. E. Drewes, Systematic Development of a Simultaneous Determination of Plastic Particle Identity and Adsorbed Organic Compounds by Thermodesorption-Pyrolysis GC/MS (TD-Pyr-GC/MS). Molecules Oct 28;25(21), 4985 (2020). doi: 10.3390/molecules25214985. PMID: 33126488

44. ISO 13320:2009 Particle size analysis-Laser diffraction methods. Publication date: 2009-10. Technical Committee: ISO/TC 24/SC 4 Particle characterization. ICS: 19.120 Particle size analysis. Sieving. Available online: https://www.iso.org/standard/44929.html (accessed on 6 January 2020).

45. B. Słomka-Słupik, Self-Immobilizing Metals Binder for Construction Made of Activated Metallurgical Slag, Slag from Lignite Coal Combustion and Ash from Biomass Combustion. Materials 14, 3101 (2021) https://doi.org/10.3390/ma14113101.

46. PN-EN ISO 12677:2011 Chemical Analysis of Refractory Products By X-Ray Fluorescence (XRF)-Fused Cast-Bead Method; PKN: Warsaw, Poland, 2011.

47. PN-EN 196-1:2016-07 Metody badania cementu - Część 1: Oznaczanie Wytrzymałości (Cement Test Methods-Part 1: Determination of Strength); PKN: Warsaw, Poland, 2018.

48. PN-EN 12457-4:2006 Charakteryzowanie odpadów -- Wymywanie -- Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów -- Część 4. PKN: Warszawa, 2006

49. R. Baron, Determination of rare earth elements in power plant wastes, Min. Mach. 4, 164, 24-30 (2020) DOI 10.32056/KOMAG2020.4.3

Badania zapraw cementowych i żużlowych z granulatami gumowymi SBR pod względem ekotoksykologiczności i wytrzymałości

Znane są różne rozwiązania zagospodarowania odpadów gumowych pochodzących ze zużytych opon, w literaturze napotykamy w szczególności na badania mieszanek betonowych i już gotowego wyrobu. Są to badania opisujące głównie właściwości reologiczne, mechaniczne i trwałościowe.

Jednak duża toksyczność gumowych odpadów z opon samochodowych nakazuje badać taki beton pod względem ekotoksykologicznym. W pracy przedstawiono wyniki badań nad użyciem 3 różnych granulatów jako wypełniaczy zapraw ze spoiwem żużlowym lub cementowym CEM IV. Skupiono się na immobilizacji szkodliwych związków z granul gumowych w masie spoiwa. Założono, że wyrób budowlany z użyciem zaprawy z granulatem gumowym będzie miał kontakt z wodą. Masowy udział granulatów w zaprawach wynosił 4,7%. Uziarnienie granulatów wynosiło do 4 mm, głównie 1–3 mm.

Wykazano spadek wytrzymałości zapraw z dodatkiem granulatów oraz brak wymywania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych z zapraw. Metale z zapraw zostały zasorbowane przez gumę, w większości przypadków.

Słowa kluczowe *granulat gumowy SBR, WWA, toksyczność, wymywanie, CEM IV, żużel*

Research on creating spatial analysis models for developing COVID-19 Vulnerability Index Map in Hanoi City

Thi Thu NGUYEN [1,*], Minh Quang NGUYEN [1], Long Quoc NGUYEN [1] Tomasz LIPECKI [2]

[1] Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

[2] Faculty of Geo-Data Science, Geodesy and Environmental Engineering, AGH University of Krakow, Poland.

* Corresponding author: nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn

http://doi.org/

Submission date: 16-10-2023 | Review date: 22-12-2023

Abstract

The COVID-19 epidemic is gradually being pushed back in Vietnam as well as around the world, but the emergence of different variants of the SARS COVI 2 virus remain a risk that could lead to a resurgence of the disease . Therefore, preparing sopportive information for epidemic prevention, especially disease risk maps based on spatial data, is essential to ensure that Vietnam can live safely with the SARS COVI virus 2. This paper presents a method for creating a COVID-19 sensitive map of Hanoi city using the QGIS technology. From there, areas at high risk of rapid infection when there are initial cases in the community and regions at high risk of outbreak can be identified in this map. This information helps the government plan to prioritize early vaccine coverage as well as propose reasonable epidemic prevention measures.

Keywords: *COVID, CVI map, QGIS, Hanoi.*

1. Introduction

The world is currently facing a special health problem due to the outbreak of a new coronavirus disease called COVID-19. This is a great threat to humanity. The virus has spread to almost all over the world, and the impact of the pandemic is being felt in nearly every aspect of our lives. Until now, there is no effective medicine that can be used to prevent and treat COVID-19. Therefore, to control the transmission of the COVID 19 virus, it is necessary to rely on community and use non-pharmaceutical interventions (NPIs), such as distancing social, protecting vulnerable groups, limiting public events and implementing global lockdowns. These measures are primarily to minimize the spread of COVID-19 person-to-person through social distancing (Nande, Adlam et al. 2021).

Studies conducted in the US (Amram, Amiri et al. 2020), India (Acharya and Porwal 2020), UK (Nicodemo, Barzin et al. 2020, Daras, Alexiou et al. 2021), Brazil (Santos, Siqueira et al. 2020) , Bangladesh (Rahman, Islam et al. 2021), European Union (Fu, Wang et al. 2021), Palestine (Shadeed and Alawna 2021) have shown that disease risk maps have effectively contributed to improving effectiveness of epidemics prevention, playing an important role in saving human lives as well as effectively overcoming the economic and social consequences caused by the pandemic. Therefore, since the COVID-19 pandemic appeared in the world, there have been many studies to establish disease risk maps such as COVID Vulnerability Index Map, Pandemic Vulnerability Index Map. The purpose of these maps is to identify high-risk locations for disease outbreaks, and then provide the most effective and appropriate adaptive methods based on population conditions, living

conditions, infrastructure, healthcare, etc. in order to avoid human losses and maintain economic development at the maximum possible level (Acharya and Porwal 2020).

Till now, COVID-19 risk mapping has been reported in many nations in the world using various approaches. According to (Raju K, Lavanya R et al. 2020), one of tools that helps people can understand the disease is Geographic information systems (GIS). GIS provide a great framework for integrating disease-specific data with population settlements, social and healthcare facilities, and the surrounding natural environment. It also offers data that are highly appropriate for analyzing data and showing trends. (Sangiorgio and Parisi 2020) proposed the multicriteria approach and GIS technology for hazard evaluation of Covid-19 in urban district lockdown. Similarly, GIS-based MCDA was utilized to establish the COVID-19 vulnerability map for the West Bank, Palestine (Shadeed and Alawna 2021). In addition, in order to potentially vulnerable areas of the COVID-19 infection which can aid government organizations in maintaining disease management and preventing its spread, (Malakar 2022) generated the COVID-19 vulnerability map West Bengal, India through the GIS platform and an integrated fuzzy MCDM approach. On the other hand, this method also applies in constructing the COVID-19 vulnerability model in China (Gao, Jiang et al. 2022), assessing of COVID-19 vulnerability risk (Wyszyński, Grudziński et al. 2022), determining main social vulnerability indicators in the pandemic in Iran (Moslehi, Dehdashti et al. 2023), establishing COVID-19 susceptibility mapping (Sarkar 2020)

In addition GIS-based MCDA approach, (Dahu, Alaboud et al. 2023) confirmed the role of application satellite imaging, remote sensing technology, and geospatial data in identifying features and relationship that are connected to the global dissemination and mortality rate of COVID-19. Furethermore, (Mehmood, Bao et al. 2022) concluded that, in the upcoming years, the application of remote sensing technology will enable far more efficient monitoring and management of global pandemic risks. There are, this technology has been widely applied in research on the COVIDS pandemic. (Kanga, Sudhanshu et al. 2022) used remote sensing, GIS technology and local knowledge-based method to effectively solve the contagion of COVID 19 disease in India. In consultation with the local authorities, they spatially delineated different hazards zones and the activities that are permitted there. Besides, (Toulkeridis, Seqqat et al. 2022) used satellite images to analyze SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador. Additionlly, *combination of the Bayesian network and the GIS technology also used to build a model for analyzing the vulneratble regions due to the outbreak of* pandemic *i*n Bangkok, Thailand. This model employed to perform a scenario analysis led to the discovery of strategies for vulnerability management.

To be able to generate disease risk maps, spatial data plays an important role, as input for models to determine the disease risk index (Amram, Amiri et al. 2020). Based on statistics on the location of COVID-19 cases, it is possible to create correlations between some spatial information such as population density, per capita income, living conditions with risk of disease outbreak, etc. (Acharya and Porwal 2020). This spatial information can be collected through open data sources, or can be determined indirectly by spatial analysis models through existing spatial data such as, distribution of land covers, population data, etc. (Franch-Pardo, Napoletano et al. 2020).

In Vietnam, there have been studies to determine the location of diseases such as malaria (Bui and Pham 2016), geographical analysis of the occurrence of diarrhea caused by shigellosis bacteria in Vietnam (Kim, Ali et al. 2008), or the geographical distribution of dengue fever in Hanoi City (Thanh Toan, Hu et al. 2013). These studies show that geographic information/spatial information can contribute to improving the effectiveness of disease prevention, protecting people's lives, and ensuring health safety for Vietnam. In addition, GIS technology has also been proven to be effective in zoning the risk of covid-19 epidemic to decentralize the level of impact (Canh, Son et al. 2022). Besides, to forecast and zone epidemic areas to be able to provide the most accurate and fastest solutions, (Sơn, Nga et al. 2022) applied local geographical regression models to assess the epidemic situation throughout the city focusing on areas forecasted to have a high and very high infection risk. However, the COVID-19 epidemic is a new disease and appears rapidly, so there is almost no experience and not many studies using spatial data for forecasting and identifying epidemic risks. This study focuses on using spatial data and GIS to create spatial analysis models to for establishing the COVID-19 sensitivity maps for Hanoi city.

2. Study area

Hanoi, the capital of the Socialist Republic of

Vietnam, is located between 20°53′ to 21°23′ north latitude and between 105°44′ to 106°02′ east longitude. It is the political, economic, cultural, scientific, and technical center of the whole country (Uy and Nakagoshi 2008). Located within the Red river delta of Northern, Ha Noi is the region with the highest density of population in the nation with almost 22 million people living there in an area of over 21,000 km^2, more than 8 million of whom live in urban zones (General Statistics Office 2020). The region around Hanoi is made up of plains near the southeast coast and is bounded to the north and west by mountains and hilly regions, including some significant national parks, such as Ba Vi and Tam Dao (Van den Berg, Van Wijk et al. 2003).

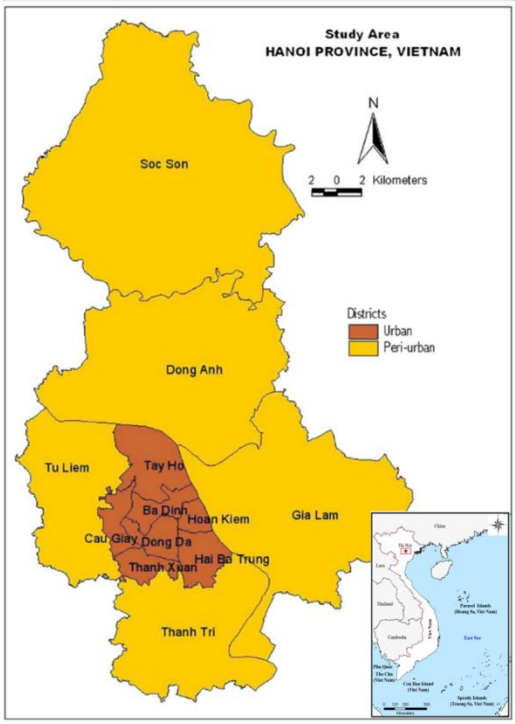


Figure 1. The study area (Thapa and Murayama 2008)

Rys.1 Obszar badań (thapa i Murayama, 2008)

3. Methodology and data

3.1 Used data

During the research process, data on COVID-19 infections in Hanoi during the period from July 5, 2021 to September 22, 2021 was collected at the Ha Noi Center for Disease Control (CDC Hanoi - 70 Nguyen Chi Thanh, Dong Da, Hanoi); At the same time, some necessary spatial data for establishing disease risk index maps are also obtained such as: land cover data, population data and population distribution, and local market data, commercial centers, apartments, data on industrial parks, etc. in Hanoi city. Table 1 shows the data and sources used in the study

Table 1. Sources and data used in the study

Tabela 1 Żródła i dane uzyte w badaniach

Data	Description	Source
Population density		(http://www.worldpop.org.uk/)
Land cover	2019 - 2021	https://www.eorc.jaxa.jp/
Land cover	10m resolution	Sentinel – 2, Global data 2020
Location of local markets in Hanoi City	2019 - 2021	Google Earth
Location of local markets in Hanoi City	July 5, 2021 to September 22, 2021	Ha Noi Center for Disease Control

In the above data, the locations of over 3,500 F0 cases in Hanoi City (due to the lack of coordinate information, the team had to manually perform geocoding) were used for comparison with the model's results.

3.2 Methodology

The principle of determining sensitive areas is based on the number of F0 cases in a specific area (after identifying the location of the F0 cases on the map). Then, the ratio between the area with F0 cases (it can be a ward or commune, a district, a neighborhood, a residential group, etc.) and the total area in the study area will be determined. The higher this ratio means the greater the sensitivity of that area. In addition, for the purpose of centralized community screening, after determining the position of F0 cases on the map, the sensitivity index of the area where F0 cases live is calculated. Depending on the percentage value of this sensitivity index (it can be an average, high or very high sensitive area), the range for community testing can be identified (ie, the radius of the area that needs to be tested can be determined) (Figure 2). The COVID-19 susceptibility map is established according to the following process:

Quantify the values that characterize the sensitivity level of each size cell 100x100m (equivalent to 01 hectare) includes the total population within a radius of 500 meters and distance from each cell to sensitive geographical objects that easily become centers of

epidemic spread such as markets, supermarkets, apartments, industrial areas, commercial centers, etc.

Calculate sensitive indicators for subjects such as: population density, markets, apartment, industrial areas, shopping centrer, and supermartket on each cell based on the number of people within 500 m in the area with F0 cases, distance from the areas where there are sensitive geographical objects mentioned above to the locations of the F0 cases. From there, the composite sensitivity index is determined based on the following formula (Sơn, Nga et al. 2022):

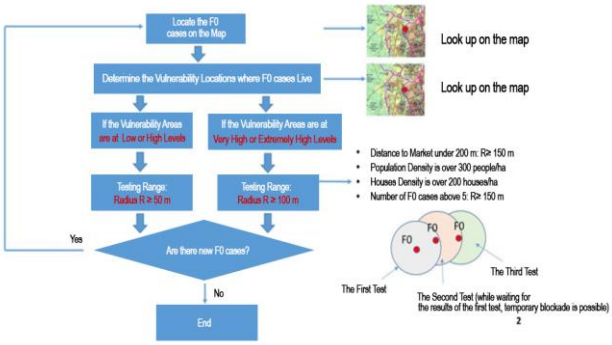


Figure 2. Focused community screening testing
Rys.2. Skoncentrowane badania przesiewowe społeczności

$$Sensitive\_Index_i = W_{Po}*Po\_Index_i + W_{Ma}*Ma\_Index_i + W_{Ap}*Ap\_Index_i + W_{Su}*Su\_Index_i + W_{In}*In\_Index_i + W_{Sh}*Sh\_Index_i \quad (1)$$

In which: W_{Po} W_{Ma} W_{Ap} W_{Su} are the weights of sensitive factors such as population density, market, apartment building, supermarket, industrial area, shopping centrer respectively.

Because the collected data is not large enough, in this study, the weight values of the above mentioned objects are considered the same and equal to 1

The relative composite sensitivity index value is calculated based on the following formula (Sơn, Nga et al. 2022):

$$Relative\_Sensitive\_Index_i = 100 * \frac{Sensitive\_Indexi}{Max\_of\_Sensitive\_Index} \quad (2)$$

The research team used open source software Quantum GIS (QGIS) to build spatial analysis models for establishing a map of the risk of COVID-19 infection. According to (Maitieg, Aljamel et al.), in addition to supporting all of the features of a GIS, QGIS is an open-source, cross-platform GIS that operates as a desktop program. Spatial data can be conveniently examined, modified, and analyzed by utilizing QGIS. In order to develop the COVID-19 susceptibility map, it is necessary to prepare base data including population density, land cover, location of local markets in Hanoi City. Then, ading the base layer map and the vector data. The result maps are generated by using QGIS software.

4. Results and discussion

The COVID-19 vulnerability map of Hanoi city was established based on data collected in the period from April 27, 2021 to September 7, 2021 (Figure 3). This map is used to determine the risk and speed of epidemic spread in Hanoi when the epidemic is uncontrollable. This map shows specific information about the testing locations, centralized quarantine places, the patient's home area, the locations the patients come within 14 days and after 14 days, and the position of the hospitals and medical centers, location of blockade and medical quarantine area. In addition, the areas with five risk levels display on the map including low, moderate, high, very high, and extremely high.

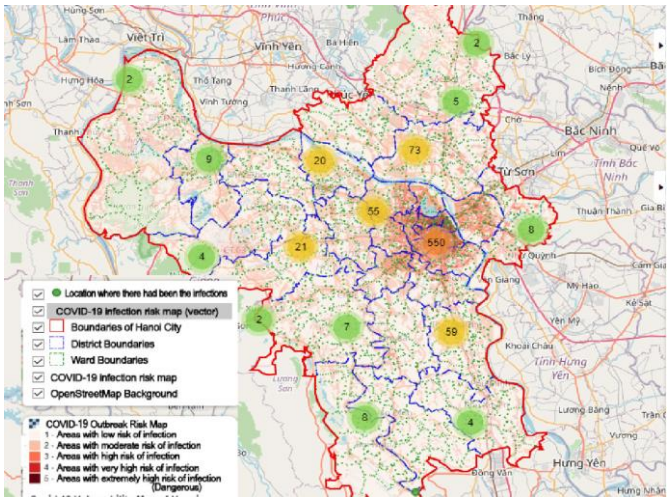


Figure 3. COVID-19 Vulnerability Map of Hanoi city
Rys.3. Mapa podatności na COVID -19 dla miasta Hanoi

In addition, data on the number of positive cases, COVID-19 infected cases per day, F1, F2 cases, deaths, recovered cases, test samples and people waiting to be tested in areas of Hanoi city is also extracted from the map (Figure 4).

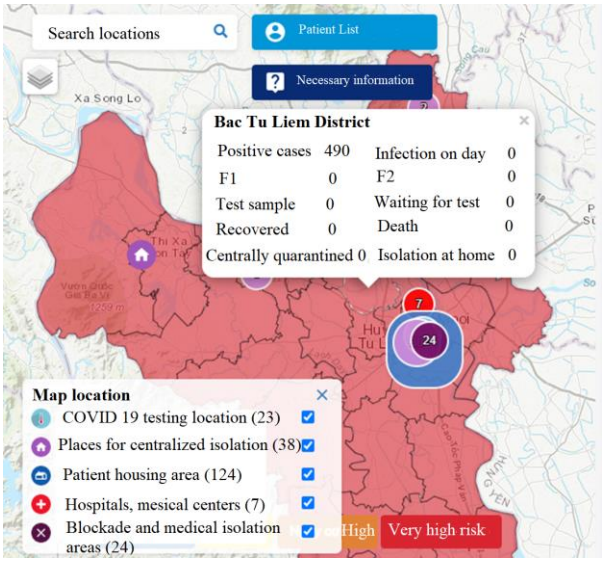


Figure 4. Statistics on the COVID-19 epidemic in Bac Tu Liem district, Hanoi city

Rys.4. Statystyki propoagacji epidemii COVID-19 w dzielnicy Bac Tu Liem w Hanoi

In addition, based on indicators of population density, distance to densely populated locations such as markets, shopping centers, industrial parks, supermarkets, shopping centre, etc., the risk map of COVID 19 infection in Hanoi city was also established (Figure 5). On this map, the risk level is divided into 4 levels: normal, risk, high risk, and very high risk.

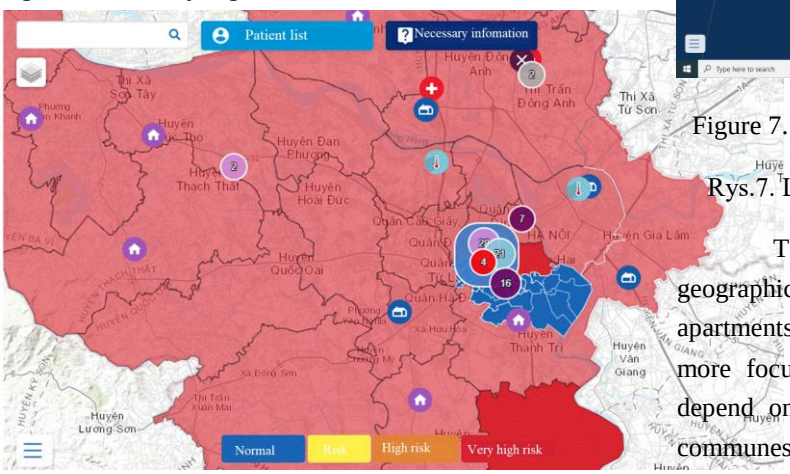


Figure 5. The risk map of COVID 19 infection in Hanoi city

Rys.5. Mapa ryzyka infekcji COVID-19 w Hanoi

Notably, information related to the epidemic in any location can also be accessed. Figure 6 is an example of data search in Thanh Xuan district:

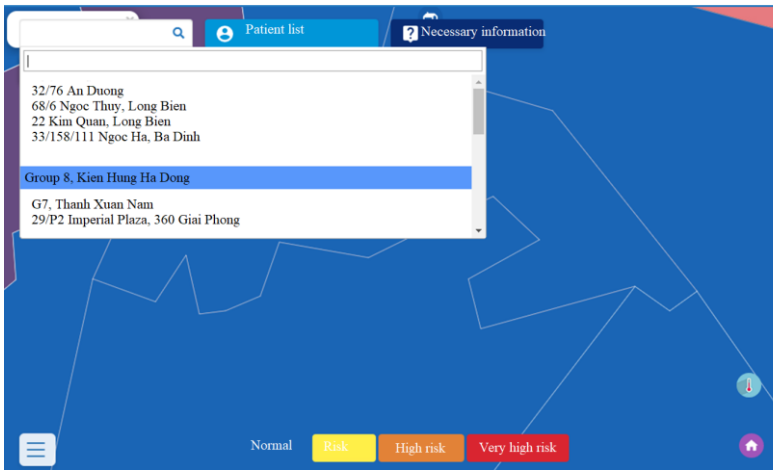


Figure 6. Search any area in Hanoi city

Rys.6. Selekcja danych w obszarze miasta Hanoi

In addition to the number of F0, F1, F2 cases, etc., a specific list of each F0 case in the search area is also displayed on the map (Figure 7).

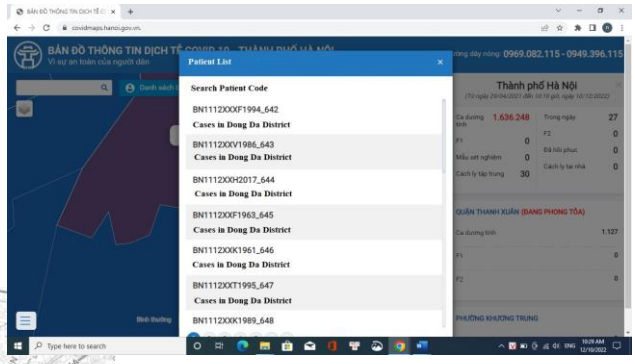


Figure 7. Displaying the list of F0 patients in the search area

Rys.7. Lista pacjentów grupy F0 w obszarze selekcji

The application method for research is based on geographical factors such as population, traffic, apartments, etc., so the ability to detect F0 is faster and more focused. In addition, the method used does not depend on the administrative boundaries between two communes or neighborhoods, thus the ability to detect F0 is a larger area in one test. At the same time, based on the risk index map and infection risk map, the determination of testing areas is flexible, narrowed or expanded depending on the actual detection of F0 cases and the residence characteristics of F0 cases. Based on terrain characteristics, it is possible to reduce the radius of the testing area, thereby reducing the objects of the testing area (For example: separated by canals, large roads, etc.), which means that the cost of testing is reduced. However, this method requires map data with the necessary information to determine the scope of the testing area.

Furthermore, in order to the obtained results to be highly reliable, the coordination of testing between neighborhoods and neighborhoods and wards and wards in adjacent areas must be tight and synchronous. Most importantly, there is a risk of missing F0 cases when compared to testing the entire neighborhood or ward.

5. Conclusion

The study proposed the method for generating a COVID-19 sensitive map of Hanoi city using the QGIS technology. These maps will help identify high-risk areas for development of epidemics, thereby providing reasonable adaptation methods based on population conditions, living conditions, infrastructure, healthcare, etc. in the most effective way. This minimizes human losses while still maintaining economic development at the maximum possible level. On the other hand, researching models allows the identification of disease risk indicators from spatial data, as well as spatial analysis models that determine necessary information for epidemiological modeling such as population density, living conditions, information about population demographics, age, etc. It is also a necessary preparation to respond to the emergence of respiratory infectious diseases as well as other infectious diseases in the future.

Acknowledgements
This research was funded by Hanoi University of Mining and Geology, Grant Number T22-44.

Conflicts of Interest
The authors declare no conflict of interest.

Literatura – References

Acharya, R. and A. Porwal (2020). "A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study." The Lancet Global Health **8**(9): e1142-e1151.
Amram, O., S. Amiri, R. B. Lutz, B. Rajan and P. Monsivais (2020). "Development of a vulnerability index for diagnosis with the novel coronavirus, COVID-19, in Washington State, USA." Health & place **64**: 102377.
Bui, T. Q. and H. M. Pham (2016). "Web-based GIS for spatial pattern detection: application to malaria incidence in Vietnam." SpringerPlus **5**(1): 1-14.
Canh, K. M., B. H. Son and L. T. Chon (2022). "Gis app proposed solutions to construction risk of Covid–19 in Thu Duc City." Journal of Hydro -Meteorology(4): 382-388.
Dahu, B. M., K. Alaboud, A. A. Nowbuth, H. M. Puckett, G. J. Scott and L. R. Sheets (2023). "The Role of Remote Sensing and Geospatial Analysis for Understanding COVID-19 Population Severity: A Systematic Review." International Journal of Environmental Research and Public Health **20**(5): 4298.
Daras, K., A. Alexiou, T. C. Rose, I. Buchan, D. Taylor-Robinson and B. Barr (2021). "How does vulnerability to COVID-19 vary between communities in England? Developing a small area vulnerability index (SAVI)." J Epidemiol Community Health **75**(8): 729-734.
Franch-Pardo, I., B. M. Napoletano, F. Rosete-Verges and L. Billa (2020). "Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review." Science of the total environment **739**: 140033.
Fu, S., B. Wang, J. Zhou, X. Xu, J. Liu, Y. Ma, L. Li, X. He, S. Li and J. Niu (2021). "Meteorological factors, governmental responses and COVID-19: evidence from four European countries." Environmental research **194**: 110596.
Gao, Z., Y. Jiang, J. He, J. Wu, J. Xu and G. Christakos (2022). "An AHP-based regional COVID-19 vulnerability model and its application in China." Modeling earth systems and environment: 1-14.
General Statistics Office, G. (2020). "Statistical Yearbook of Vietnam 2019." Statistical Publishing House: Hanoi, Vietnam.
Kanga, S., Sudhanshu, G. Meraj, M. Farooq, M. Nathawat and S. K. Singh (2022). "Reporting the management of COVID-19 threat in India using remote sensing and GIS based approach." Geocarto International **37**(5): 1337-1344.
Kim, D. R., M. Ali, V. D. Thiem, J.-K. Park, L. von Seidlein and J. Clemens (2008). "Geographic analysis of shigellosis in Vietnam." Health & place **14**(4): 755-767.
Maitieg, A., A. Aljamel and W. Eltarjaman "A Framework for Deploying GIS Applications to Monitor the Spatial Distribution of Epidemics. COVID-19 Epidemic in Libya Case Study."
Malakar, S. (2022). "Geospatial modelling of COVID-19 vulnerability using an integrated fuzzy MCDM approach: a case study of West Bengal, India." Modeling Earth Systems and Environment **8**(3): 3103-3116.

Mehmood, K., Y. Bao, S. Mushtaq, M. A. Khan, N. Siddique, M. Bilal, Z. Heng, L. Huan, M. Tariq and S. Ahmad (2022). "Perspectives from remote sensing to investigate the COVID-19 pandemic: A future-oriented approach." Frontiers in Public Health **10**: 938811.
Moslehi, S., A. Dehdashti, B. Pourmohammdi and F. Fatemi (2023). "Main social vulnerability indicators in the COVID-19 pandemic in Iran." Frontiers in Public Health **11**: 1080137.
Nande, A., B. Adlam, J. Sheen, M. Z. Levy and A. L. Hill (2021). "Dynamics of COVID-19 under social distancing measures are driven by transmission network structure." PLoS computational biology **17**(2): e1008684.
Nicodemo, C., S. Barzin, D. Lasserson, F. Moscone, S. Redding and M. Shaikh (2020). "Measuring geographical disparities in England at the time of COVID-19: results using a composite indicator of population vulnerability." BMJ open **10**(9): e039749.
Rahman, M. R., A. H. Islam and M. N. Islam (2021). "Geospatial modelling on the spread and dynamics of 154 day outbreak of the novel coronavirus (COVID-19) pandemic in Bangladesh towards vulnerability zoning and management approaches." Modeling earth systems and environment **7**: 2059-2087.

Acharya, R. and A. Porwal (2020). "A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study." The Lancet Global Health **8**(9): e1142-e1151.

Amram, O., S. Amiri, R. B. Lutz, B. Rajan and P. Monsivais (2020). "Development of a vulnerability index for diagnosis with the novel coronavirus, COVID-19, in Washington State, USA." Health & place **64**: 102377.
Bui, T. Q. and H. M. Pham (2016). "Web-based GIS for spatial pattern detection: application to malaria incidence in Vietnam." SpringerPlus **5**(1): 1-14.
Canh, K. M., B. H. Son and L. T. Chon (2022). "Gis app proposed solutions to construction risk of Covid–19 in

Thu Duc City." Journal of Hydro -Meteorology(4): 382-388.
Dahu, B. M., K. Alaboud, A. A. Nowbuth, H. M. Puckett, G. J. Scott and L. R. Sheets (2023). "The Role of Remote Sensing and Geospatial Analysis for Understanding COVID-19 Population Severity: A Systematic Review." International Journal of Environmental Research and Public Health **20**(5): 4298.
Daras, K., A. Alexiou, T. C. Rose, I. Buchan, D. Taylor-Robinson and B. Barr (2021). "How does vulnerability to COVID-19 vary between communities in England? Developing a small area vulnerability index (SAVI)." J Epidemiol Community Health **75**(8): 729-734.
Franch-Pardo, I., B. M. Napoletano, F. Rosete-Verges and L. Billa (2020). "Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review." Science of the total environment **739**: 140033.
Fu, S., B. Wang, J. Zhou, X. Xu, J. Liu, Y. Ma, L. Li, X. He, S. Li and J. Niu (2021). "Meteorological factors, governmental responses and COVID-19: evidence from four European countries." Environmental research **194**: 110596.
Gao, Z., Y. Jiang, J. He, J. Wu, J. Xu and G. Christakos (2022). "An AHP-based regional COVID-19 vulnerability model and its application in China." Modeling earth systems and environment: 1-14.
General Statistics Office, G. (2020). "Statistical Yearbook of Vietnam 2019." Statistical Publishing House: Hanoi,

Vietnam.
Kanga, S., Sudhanshu, G. Meraj, M. Farooq, M. Nathawat and S. K. Singh (2022). "Reporting the management of COVID-19 threat in India using remote sensing and GIS based approach." Geocarto International **37**(5): 1337-1344.
Kim, D. R., M. Ali, V. D. Thiem, J.-K. Park, L. von Seidlein and J. Clemens (2008). "Geographic analysis of shigellosis in Vietnam." Health & place **14**(4): 755-767.
Maitieg, A., A. Aljamel and W. Eltarjaman "A Framework for Deploying GIS Applications to Monitor the Spatial Distribution of Epidemics. COVID-19 Epidemic in Libya Case Study."
Malakar, S. (2022). "Geospatial modelling of COVID-19 vulnerability using an integrated fuzzy MCDM approach: a case study of West Bengal, India." Modeling Earth Systems and Environment **8**(3): 3103-3116.
Mehmood, K., Y. Bao, S. Mushtaq, M. A. Khan, N. Siddique, M. Bilal, Z. Heng, L. Huan, M. Tariq and S. Ahmad (2022). "Perspectives from remote sensing to investigate the COVID-19 pandemic: A future-oriented approach." Frontiers in Public Health **10**: 938811.
Moslehi, S., A. Dehdashti, B. Pourmohammdi and F. Fatemi (2023). "Main social vulnerability indicators in the COVID-19 pandemic in Iran." Frontiers in Public Health **11**: 1080137.
Nande, A., B. Adlam, J. Sheen, M. Z. Levy and A. L. Hill (2021). "Dynamics of COVID-19 under social distancing measures are driven by transmission network structure." PLoS computational biology **17**(2): e1008684.
Nicodemo, C., S. Barzin, D. Lasserson, F. Moscone, S. Redding and M. Shaikh (2020). "Measuring geographical disparities in England at the time of COVID-19: results using a composite indicator of population vulnerability." BMJ open **10**(9): e039749.
Rahman, M. R., A. H. Islam and M. N. Islam (2021). "Geospatial modelling on the spread and dynamics of 154 day outbreak of the novel coronavirus (COVID-19) pandemic in Bangladesh towards vulnerability zoning and management approaches." Modeling earth systems and environment **7**: 2059-2087.
Raju K, Lavanya R, Manikandan S and Srilekha K (2020). "Application of GIS in COVID -19 Monitoring

and Surveillance." International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) **8**(V).
Sangiorgio, V. and F. Parisi (2020). "A multicriteria approach for risk assessment of Covid-19 in urban district lockdown." Safety Science **130**: 104862.
Santos, J. P. C. d., A. S. P. Siqueira, H. L. F. Praça and H. G. Albuquerque (2020). "Vulnerability to severe forms of COVID-19: an intra-municipal analysis in the city of Rio de Janeiro, Brazil." Cadernos de Saúde Pública **36**.
Sarkar, S. K. (2020). "COVID-19 susceptibility mapping using multicriteria evaluation." Disaster medicine and public health preparedness **14**(4): 521-537.
Shadeed, S. and S. Alawna (2021). "GIS-based COVID-19 vulnerability mapping in the West Bank, Palestine." International Journal of Disaster Risk Reduction **64**: 102483.
Sơn, B. H., D. T. T. Nga and Đ. T. B. Lê Trung Chơn (2022). "Dự báo khu vực lan truyền nhạy cảm Covid–19 dựa vào phương pháp hồi quy."
Thanh Toan, D. T., W. Hu, P. Quang Thai, L. Ngoc Hoat, P. Wright and P. Martens (2013). "Hot spot detection and spatio-temporal dispersion of dengue fever in Hanoi, Vietnam." Global health action **6**(1): 18632.
Thapa, R. B. and Y. Murayama (2008). "Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi." Land use policy **25**(2): 225-239.
Toulkeridis, T., R. Seqqat, M. T. Arias, R. Salazar-Martinez, E. Ortiz-Prado, S. Chunga, K. Vizuete, M. Heredia-R and A. Debut (2022). "Volcanic Ash as a precursor for SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador: A satellite Imaging and excess mortality-based analysis." Disaster Medicine and Public Health Preparedness **16**(6): 2499-2511.
Uy, P. D. and N. Nakagoshi (2008). "Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam." Urban Forestry & Urban Greening **7**(1): 25-40.
Van den Berg, L. M., M. S. Van Wijk and P. Van Hoi (2003). "The transformation of agriculture and rural life downstream of Hanoi." Environment and Urbanization **15**(1): 35-52.
Wyszyński, M., M. Grudziński, K. Pokonieczny and M. Kaszubowski (2022). "The assessment of covid-19 vulnerability risk for crisis management." Applied Sciences **12**(8): 4090.

Badania nad stworzeniem modeli analizy przestrzennej na potrzeby opracowania Mapy Wskaźnika Podatności na Covid-19 w mieście Hanoi

Epidemia Covid-19 jest stopniowo wycofywana w Wietnamie, a także na całym świecie, jednak pojawienie się różnych wariantów wirusa SARS COVID 2 pozostaje ryzykiem, które może doprowadzić do nawrotu choroby. Dlatego przygotowanie informacji wspomagających zapobieganie epidemiom, w szczególności map ryzyka chorób opartych na danych przestrzennych, jest niezbędne, aby Wietnam mógł bezpiecznie żyć z wirusem SARS COVID 2. W artykule przedstawiono metodę tworzenia mapy miasta Hanoi wrażliwej na COVID-19 z wykorzystaniem technologii GIS. Stamtąd na tej mapie można zidentyfikować obszary o wysokim ryzyku szybkiej infekcji, gdy w społeczności występują pierwsze przypadki, oraz regiony o wysokim ryzyku wybuchu. Informacje te pomagają rządowi zaplanować priorytetowe traktowanie wczesnego objęcia szczepieniami, a także zaproponować rozsądne środki zapobiegania epidemii

INŻYNIERIA MINERALNA
CZASOPISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZERÓBKI KOPALIN

2(52)
2023

INŻYNIERIA MINERALNA
CZASOPISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZERÓBKI KOPALIN

2(52)
2023