

MAGDA KOZIEŁ

# Charakterystyka krajowych bazaltów regionu dolnośląskiego z przeznaczeniem na włókna amorficzne

Skała bazaltowa posiada charakterystyczne właściwości, które pozwalają na wykorzystanie jej w wielu dziedzinach przemysłu. Najczęściej znajduje zastosowanie w produkcji wełny mineralnej oraz włókien ciętych. Włókno bazaltowe pod względem składu chemicznego i właściwości odróżnia się zasadniczo od włókna E oraz innych włókien szklanych. Posiada unikalne właściwości fizykochemiczne, nieosiągalne dla tradycyjnych włókien szklanych. Najważniejsze to: wytrzymałość dorównująca w laminatach wytrzymałości kevlaru, odporność termiczna (wysoka temperatura topienia) dorównująca wyrobom azbestowym, wyjątkowa odporność na niskie temperatury, odporność na kwasy i zasady, bardzo niska higroskopijność. Materiały z włókien bazaltowych posiadają wysoki współczynnik niezniszczalności, wyróżniają się też wytrzymałością na czynniki mechaniczne, szerokim zakresem temperatury stosowania, są ekologicznie bezpieczne.

## 1. Wprowadzenie

Bazalt należy do jednych z najstarszych surowców skalnych. Jest skałą litą pochodzenia wulkanicznego – wylewną (skała magmowa) o strukturze bardzo drobnoziarnistej lub afanitowej, czasami porfirowej i barwie czarnej, szarej lub zielonej. W drobnoziarnistej masie skalnej często spotykane są kryształki lub większe skupienia oliwinu. Dość często obserwuje się w bazaltach porwaki skał starszych – ksenolity. Głębinowym odpowiednikiem bazaltu jest gabro.

Cechą charakterystyczną jest oddzielność słupowa bazaltu, powstała w wyniku kurczenia się zastygłej lawy w czasie jej oziębiania. Wietrzejąc zwykle jaśnieją i wypadają z nich prakryształki oraz ksenolity.

Bazalty występują w wielu miejscach Dolnego Śląska, od zachodniej granicy Polski po okolice Opola, tworząc z innymi skałami wylewnymi tzw. trzeciorzęd-

\*Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła w Krakowie.

dową formację bazaltową. Starsze, nieco jaśniejsze odmiany bazaltu, często czerwonawo zabarwione wykazujące migdałowcową teksturę, znane są jako melafiry (paleobazalty).



Ryc. 1. Zwiertzelina bazaltowa

Skąły te pod względem chemicznym i petrograficznym wykazują znaczne zróżnicowanie.

Bazalty można podzielić na następujące grupy:

- a) bazalty właściwe o składzie: oliwin, piroksen, magnetyt, plagioklaz,
- b) bazanity o składzie: oliwin, piroksen, magnetyt, plagioklaz, nefelin,
- c) nefelinity o składzie: oliwin, piroksen, magnetyt, plagioklaz, nefelin,
- d) ankaratryty o składzie: oliwin, piroksen, magnetyt.

Najczęściej spotykane są na Dolnym Śląsku bazalty właściwe i nefelinity.

Zastosowanie bazaltów:

- do budowy dróg i autostrad,
- leizna bazaltowa,
- do produkcji włókna bazaltowego ciętego i ciągłego.

Materiały z ciągłego włókna bazaltowego znajdują zastosowanie w następujących dziedzinach:

- w lotnictwie – do izolacji silników samolotów,
- przy budowie łodzi, jachtów, małych statków — jako elementy konstrukcyjne przy budowie kadłubów, pokładów, grodzi oraz mat do izolacji cieplnej,

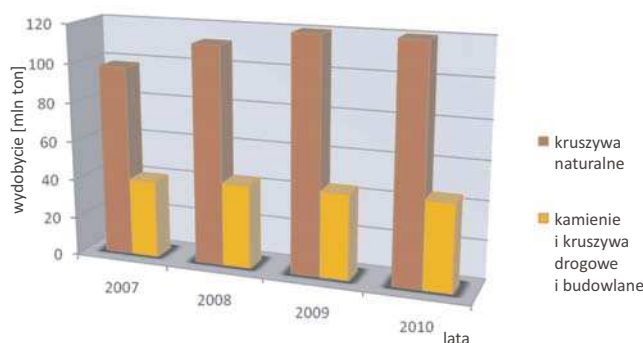
- w astronautyce – jako elementy konstrukcyjne i izolacyjne do budowy promów kosmicznych,
- w przemyśle samochodowym – jako izolacja dźwiękowa w tłumikach gazów spalinowych, jako okładziny tarcz sprzęgła, elementy konstrukcyjne wykonywane z laminatów, klocki hamulcowe,
- w przemyśle naftowym i chemicznym – filtry do oczyszczania powietrza, wód ściekowych,
- w przemyśle maszynowym – izolacja lodówek, pojemników z tlenem i azotem, silników,
- w budownictwie – nieulegające spaleniu trwale detale budowlane i zamienniki elementów drewnianych, siatki elewacyjne zewnętrzne i wewnętrzne,
- w budownictwie drogowym – siatki wzmacniające nawierzchnię.

## 2. Polska baza surowcowa

W Polsce bazalty występują głównie na terenie Dolnego Śląska. Większe z nich eksploatowane są przez kamieniołomy wytwarzające kruszywo dla drogownictwa i budownictwa. Wydobycie polskiego górnictwa skalnego w 2002 r. osiągnęło poziom ok. 144 mln ton, co stanowi 42% całego wydobycia kopalin w Polsce.

Górnictwo skalne cechuje duże rozdrobnienie; ponad 3200 firm działa na potrzeby aż 9 branż. Statystyczne wskaźniki wydobycia surowców skalnych w Polsce, w wysokości ok. 2 tony/mieszkańca, znacznie odbiegają od poziomu krajów europejskich (8,14 ton/mieszkańca).

Eksploatacją surowców skalnych w Polsce zajmują się zakłady górnicze o zróżnicowanej wielkości. Są wśród nich kopalnie o wydobyciu kilku milionów ton



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 2. Prognoza i wydobycie surowców skalnych w poszczególnych grupach surowcowych w latach 2007–2010

w roku, eksploatujące głównie surowce cementowo-wapiennicze i kruszywa naturalne. Większość zakładów górniczych jest jednak zakładami małymi o wydobyciu z jednego złoża nieprzekraczającym 100 tys. ton/rok i zatrudnieniu poniżej 50 osób. Do wyjątków należą kopalnie o wydobyciu ponad 1 mln Mg (Wilków). Dominują zakłady o wydobyciu 75–100 tys. ton. Urabianie złóż prowadzone jest metodą długich otworów odpalanych milisekundowo, najczęściej w jednym lub dwóch szeregach. W wielu zakładach stosowane są schematy trój- i więcej szeregowe.

### 3. Charakterystyka fizykochemiczna bazaltów

Specyfiką krajowych złóż skał bazaltowych, obok zmienności mineralogicznej, jest często występująca zmienność składu chemicznego, nawet w obrębie jednego złoża. Naturalny proces wietrzenia tych skał zmienia ich skład chemiczny już w początkowym stadium, objawia się to zmniejszeniem zawartości MgO i utlenieniem FeO do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



Ryc. 3. Przykładowe kopalnie bazaltu w Polsce

Przykładowe kopalnie bazaltu położone w dolnośląskim okręgu przemysłowym, wydobywające skałę bazaltową:

- **Łużycka Kopalnia Bazaltu „Księginki” Lubań**

Historia wydobywania bazaltu z obecnego złoża „Księginki-Północ” sięga 1905 r., dane o zasobach geologicznych datuje się na 1935 r. Łącznie zasoby geologiczne bazaltu znajdujące się z złóż „Księginki-Północ”, „Księginki I” i „Bukowa Góra” wynoszą ok. 126 mln ton, a zdolność produkcyjna w trzech kopalniach wynosi ok. 3 mln ton wyrobów gotowych, w tym ok. 1,5 mln ton grysów.

• **Kopalnia PGP Wilków**

Przedsiębiorstwo Górniczo-Produkcyjne „BAZALT” w Wilkowie od 1985 r. produkuje wyroby kamienne przeznaczone dla budownictwa drogowego i kolejowego dla odbiorców z całej Polski.

• **Kopalnia Bazaltu „Aleksandra”**

Kopalnia z siedzibą w miejscowości Gronów gmina Zgorzelec. Produkuje i sprzedaje następujące kruszywa bazaltowe: mieszanka 0–31,5 mm, mieszanka 0–63 mm, tłuczeń 31,5–63 mm, kliniec 4–31,5 mm, kamień łamany 80–150 mm i inne frakcje.

• **PRI-Bazalt „Rębiszów”**

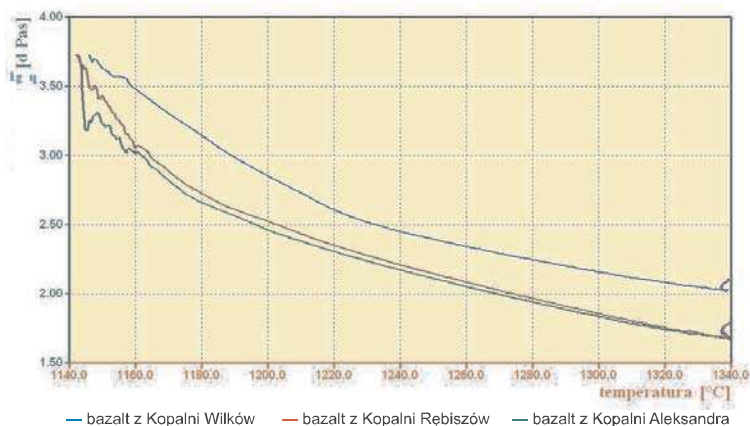
Kopalnia z siedzibą w Rębiszowie jest zakładem produkcyjnym, którego działalność polega na wydobywaniu, przerobie i sprzedaży kruszyw bazaltowych. Firma produkuje kruszywa bazaltowe znajdujące zastosowanie w produkcji mas bitumicznych na podbudowę, a także do produkcji betonów. Proces wydobywania i produkcji kruszyw bazaltowych w kopalni „Rębiszów” liczy sobie ok. 80 lat, tj. odbywa się od 1925 r.

Tabela 1

*Składy chemiczne bazaltów z przykładowych kopalń Dolnego Śląska*

Składy chemiczne	Kopalnie bazaltów						
	Kopalnia Aleksandra	Kopalnia Odkrywkowa Wilków	Kopalnia PGP Wilków	Księginki – złożo Księginki-Północ	Księginki – złożo Bukowa Góra	PRI-Bazalt Rębiszów 0/2	Colas Kruszywa
Straty prażenia	1,57	1,21	1,60	4,70	1,36	1,87	2,51
SiO <sub>2</sub>	40,77	44,46	44,38	41,22	41,60	42,31	42,14
CaO	13,62	10,53	10,97	12,57	13,16	12,57	12,50
MgO	9,97	10,88	10,28	12,29	11,33	10,18	10,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,69	14,95	14,37	14,14	13,83	14,76	14,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,04	11,16	11,32	10,88	12,04	11,96	11,60
TiO <sub>2</sub>	1,41	1,23	1,26	0,49	0,48	0,50	0,44
Na <sub>2</sub> O	4,58	4,38	4,45	2,63	4,45	3,84	4,62
K <sub>2</sub> O	1,33	1,45	1,32	0,48	1,11	1,44	1,24
MnO	0,20	0,19	0,19	0,18	0,20	0,19	0,20

Źródło: Opracowanie własne.



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 4. Wykres lepkości próbek bazaltów

Topiony bazalt posiada dużą zdolność do krystalizacji, wzrastającą lepkość przy obniżonej temperaturze. Złożoność składu mineralogicznego bazaltów wpływa na zróżnicowane temperatury ich topienia oraz na zróżnicowane właściwości stopów powstałych po stopieniu różnych rodzajów tych skał.

Różnice w chemizmie skał charakteryzuje się w hutnictwie skalnym za pomocą parametrów A.S. Ginzberga. Są nimi następujące parametry:

A – suma tlenków kwaśnych ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ),

B – suma tlenków metali ziem alkalicznych i żelaza,

C – suma alkaliów.

Ważny jest również moduł kwasowości  $Ma$  i moduł lepkości  $Mv$  obliczane zgodnie ze wzorami:

$$Ma = \frac{m_{\text{SiO}_2} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{m_{\text{CaO}} + m_{\text{MgO}}} \quad Mv = \frac{x_{\text{SiO}_2} + x_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{2x_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + x_{\text{FeO}} + x_{\text{CaO}} + x_{\text{MgO}} + x_{\text{K}_2\text{O}} + x_{\text{Na}_2\text{O}}}$$

gdzie:

$m$  jest masą zawartości tlenków w %,

$x$  to molowa ilość tlenków mineralnych w skałach w %.

Wysoka zawartość CaO i MgO w bazaltach zwiększa zdolność krystalizacji. A mniejsza zawartość  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i podobna ilość  $\text{SiO}_2$  powoduje spadek wartości modułów.

## 4. Włókna amorficzne

Rozwój techniczny minionego stulecia, w dużym stopniu, związany był z opracowaniem i szerokim zastosowaniem materiałów kompozytowych z udziałem włókien amorficznych. Obecnie materiały te otaczają nas wszędzie. Dotychczas w kraju nie wykorzystywano bazaltu do produkcji ciągłych włókien. Natomiast dostępność złóż skał bazaltowych i pokrewnych surowców pochodzenia mineralnego miało znaczenie dla rozwoju przemysłu włóknistych materiałów izolacyjnych wytwarzanych na bazie włókien nieciągłych. Zalicza się do nich włókna szklane (do najbardziej rozpowszechnionych należy włókno ze szkła E – bezalkalicznego szkła glinowo-borowo-krzemianowego), ceramiczne, mineralne, metalowe oraz kompozytowe lub konstrukcyjne. Wykazują one bardzo dobre parametry mechaniczne i odpornościowe.

Tabela 2  
Porównanie fizycznych i mechanicznych właściwości włókien z różnych materiałów

Właściwości	Włókna							
	bazaltowe	szkła-E	azbestowe	krzemionkowe	ceramiczne	stalowe	węglowe	ceramidowe
Temperatura zastosowania [°C]	-260...+700	-60...+460	...+500	...+1050	..+1200	...+600	...+2000	...+250
Temperatura krystalizacji [°C]	1050	600	450...700	1300...1670	-	-	-	280...300
Temperatura topienia [°C]	1450	1120	1500	2000	1760	1400..1600	...2500	370...500
Ubytek topienia [%]	1,91	0,32	13,5	-	-	-	-	-
Przewodnictwo cieplne [W/m.K]	1,67	0,85...1,3	-	1,4	0,23	20...100	5...185	0,04...0,13
Pojemność cieplna właściwa [kJ/kg.K]	0,86	0,84	1,05...1,11	0,96	1,1	0,51	0,71	1,2...1,4
Współczynnik rozszerzalności liniowej [x10 <sup>-7</sup> /K]	5,5	5	-	0,5	-	0,16	-0,1...-1,3	-0,35
Gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,60...2,80	2,52...2,6	2...2,6	2,00...2,73	2,55	7,90	1,67...2,15	1,38...1,44
Moduł-E [GPa]	91...110	73	30...190	60...72	110...125	176...196	160...830	58...120
Absorbpcja wilgoci (65% RH) [%]	< 0,1	< 0,1	1,6...1,9	0	0,1	0	0,01	3...7

Źródło: Opracowanie własne.

Włókna bazaltowe wykazują podobne parametry, równocześnie pełnią rolę materiału przeznaczonego do celów tekstylnych. Plusem przemawiającym na ich korzyść jest to, że są tańszym surowcem mineralnym oraz posiadają mniej kosztowną technologię otrzymywania. Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne włókna ze stopionych skał bazaltowych przewyższają właściwości tradycyjnego włókna szklanego typu E. W tabelach 3-4 porównano najważniejsze właściwości włókien szklanych i bazaltowych.

T a b e l a 3

Najważniejsze właściwości fizyczne włókien szklanych typu E i włókien bazaltowych

Właściwości	Jednostka	Włókno ze szkła E	Włókno bazaltowe
Gęstość	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,57	2,8
Wytrzymałość na rozciąganie	[MPa]	3450	4840
Moduł sprężystości E	[GPa]	77	89
Zakres temperatury pracy	°C]	-60 do +460	-200 do +700

Źródło: Opracowanie własne.

Wytrzymałość laminatów wytwarzanych na bazie włókien bazaltowych w porównaniu z wytrzymałością z włókna szklanego jest dwukrotnie większa niż wynika to z porównania samych właściwości wytrzymałościowych włókien.

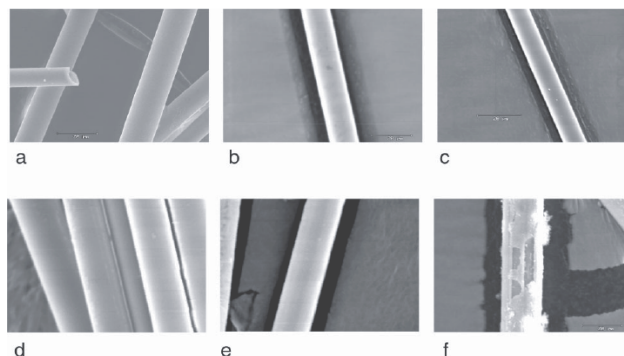
T a b e l a 4

Parametry wytrzymałościowe laminatów na bazie włókien szklanych i bazaltowych

Właściwości	Jednostka	Laminat z włóknem szklanym	Laminat z włóknem bazaltowym
Wytrzymałość na rozciąganie	[MPa]	207	579
Moduł sprężystości E	[GPa]	17,2	34

Źródło: Opracowanie własne.

Włókno bazaltowe posiada unikalne właściwości fizykochemiczne. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, odpornością termiczną, odpornością na kwasy i zasady.



Obrazy SEM nieprzetworzonych włókien i włókien badanych w 0,1 N NaOH  
 bazalt – górny rząd: a – nieprzetworzone, b – po 30 min, c – po 180 min;  
 szkło-E – dolny rząd: d – nieprzetworzone, e – po 30 min, f – po 180 min.

Ryc. 5. Badanie dotyczące odporności chemicznej włókien bazaltowych i szklanych [3]

W porównaniu z włóknem szklanym włókno bazaltowe wykazuje zdecydowanie lepszą odporność chemiczną na działanie zasad.



Początek ciągłych włókien bazaltowych wiąże się z amerykańskim patentem z 1923 r. Od tego czasu badania nad przetwarzaniem skał bazaltowych prowadzono w USA, Rosji, Wielkiej Brytanii, Niemczech. Od lat sześćdziesiątych do osiemdziesiątych XX w. technologia otrzymywania ciągłego włókna bazaltowego była przedmiotem tajnym, ze względu na zastosowanie jej wyrobów w wojsku i astronautyce. Od roku 1995 włókna ciągle znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia cywilnego. Firma belgijska „Basaltex” pracuje nad różnym zastosowaniem włókien bazaltowych, ale przede wszystkim koncentruje swoje badania nad zastosowaniem włókien jako materiału tkanego ognioodpornego z przeznaczeniem na ubrania ochronne, kurtyny przeciwpożarowe i wszelkiego rodzaju materiały niepalne. Zapotrzebowanie na tego typu materiały jest ogromne. Oprócz tego nie aktywują się one radioaktywnie (materiały dla techniki jądrowej). Ze względu na duże złoża skał bazaltowych produkcja ciągłego włókna rozwinęła się na Ukrainie, w Rosji i Chinach.

## 5. Podsumowanie

Rozwój włókien bazaltowych wywołany został zapotrzebowaniem na materiały odporne na wysokie temperatury, niepalne, niekorodujące, lekkie, a zarazem odznaczające się znaczną wytrzymałością mechaniczną na rozerwanie. Włókno bazaltowe zachowuje swoją funkcjonalność poniżej temperatury ciekłego azotu. Wykorzystanie surowców naturalnych, jakimi są skały bazaltowe, do topienia ich i rozwłókniania najpierw było używane do produkcji nieciągłego włókna bazaltowego z przeznaczeniem na materiał izolacyjny. Materiał ten okazał się doskonałym zamiennikiem dla wyrobów z włókien azbestowych, jeśli chodzi o właściwości izolacyjne, a równocześnie materiałem bez właściwości nowotwórczych, którego produkcja jest ekologicznie czysta. Z takich powodów liczne ośrodki badawcze w świecie zajmują się badaniem bazaltu oraz włókien bazaltowych ciętych i ciągłych pod kątem nowych technologii i zastosowania w przemyśle. Również ośrodek krakowski Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych podjął badania w tym zakresie.

## Literatura

- [1] Novitskii G., Mazur V.L., *Basaltic raw materials. Selected technologies for production of fibers for different applications*, „Khimichna Promyslovist Ukrainy” 2003, No. 2, s. 47–52.
- [2] Novitskii G., Sudakov V.V., *An unwoven basalt-fiber material for the encasing of fibrous insulation: An alternative to glass cloth*, „Refractories and Industrial Ceramics” 2004, No. 5, s. 6–8.
- [3] *Investigation of Chemically Treated Basalt and Glass Fibres*. [Aut.]: M. Friedrich a.a., „Mikrochim Acta” 2000, Vol. 133, s. 171–174.
- [4] *Materials based on basalts from the European north of Russia*. [Aut.]: N.N. Morozov a.a., „Glass and Ceramics” 2001, Vol. 58, No. 3/4.

- [5] Stoch L., Wyszomirski P., *Surowce i technologia hutnictwa skalnego*, „Prace Mineralogiczne”, PAN Oddział w Krakowie, 1976, nr 45.
- [6] Militky J., Kovacic V., Kvicala J., *Basalt fibres*, „Textiles Magazine” 1998, Issue 4.
- [7] *Technologia szkła*, t. 2, red. J. Wójcicki, Arkady, Warszawa 1987.
- [8] Pentlakowa Z., Szarras S., *Krystalizacja i struktura szkliva bazaltowego*, „Szkło i Ceramika” 1967.
- [9] Borkiewicz J., *Włókno mineralne w budownictwie i przemyśle – produkcja i zastosowanie*, Arkady, Warszawa 1975.
- [10] *Effect of heat-treated basalt fibre on the structure of chemisorption composite material made from it*. [Aut.]: V.A. Aleksandrov a.a., „Fibre Chemistry” 2008, Vol. 40, No. 6.

MAGDA KOZIEL

#### THE CHARACTERISTICS OF NATIONAL BASALTS OF DOLNOŚLĄSKI REGION WITH THE PURPOSE OF AMORPHOUS FIBERS

There was an introductory characteristic of national basalts included in the research work. The study included basalt rock of the Dolnośląski region. It was concluded that have distinctive properties that allow its use in many industries. Presently, it is most often used in the production of mineral wool and staple fibers. An analysis of the chemical composition of basalt fibers. In addition, it was observed that the basalt fiber has unique physical and chemical properties, inaccessible to conventional glass fibers. Highlights include: strength comparable with the strength of Kevlar laminates, heat resistance (high melting temperature) to products comparable with asbestos, exceptional resistance to low temperatures, resistance to acids and bases, a very low hygroscopicity. Basalt fiber materials have a high rate of immortality, are distinguished by a resistance to mechanical factors, a wide range of temperatures, are ecologically safe.