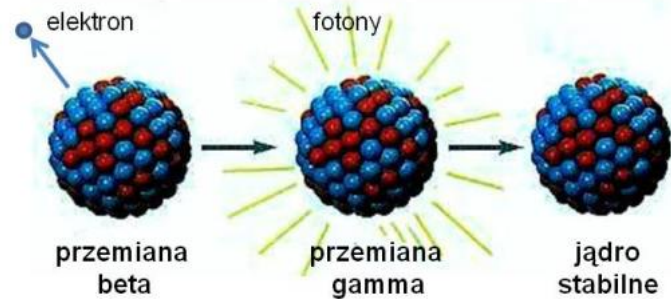
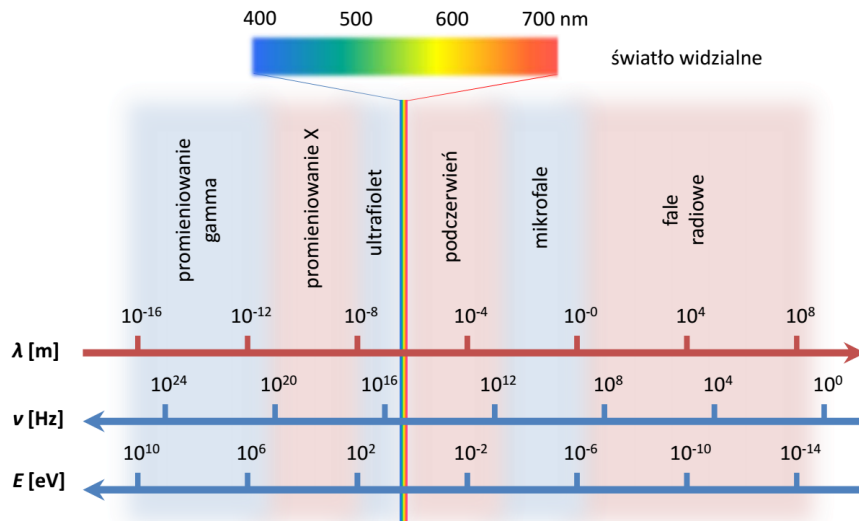


# **Wpływ promieniowania gamma na minerały**

Przegląd literatury

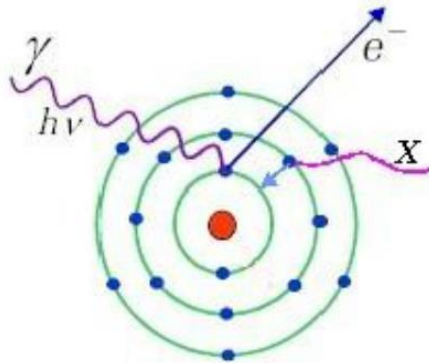
# Promieniowanie gamma

- Fale elektromagnetyczne o największych częstotliwościach i najmniejszych długościach fal
- Przemiana gamma polega na przejściu jądra ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego poprzez emisję kwantu pola elektromagnetycznego – fotonu

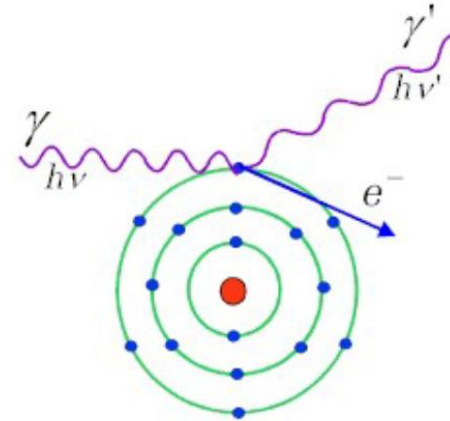


# Promieniowanie gamma

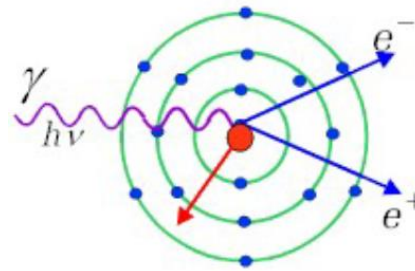
- **Zjawisko fotoelektryczne**



- **Zjawisko Comptona**



- **Zjawisko tworzenia par elektron-pozyton**



# Klasyfikacja minerałów

- I. Pierwiastki rodzime** (złoto, srebro, arsen, diament)
- II. Siarczki i kruszce pokrewne** (piryt)
- III. Halogenki** (fluoryt, halit, sylwin)
- IV. Tlenki i wodorotlenki** (magnetyt, hematyt, korund)
- V. Azotany**
- VI. Siarczany i chromiany** (gips, baryt)
- VII. Węglany** (kalcyt, dolomit)
- VIII. Fosforany, arseniany i wanadany** (apatyt)
- IX. Borany** (boraks, uleksyt, kolemanit)
- X. Krzemiany**
- XI. Związki organiczne i pokrewne**

# Krzemiany

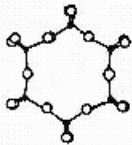
1. **Wypowe** (oliwin, topaz, granat)
2. **Grupowe** (epidot)
3. **Pierścieniowe** (beryl)
4. **Łańcuchowe** (pirokseny)
5. **Wstęgowe** (amfibole)
6. **Warstwowe** (miki, **minerały ilaste**)
7. **Szkieletowe** (**kwarc**, **skalenie**, skaleniorowce)



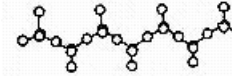
krzemiany wypowe  $[\text{SiO}_4]^{-4}$



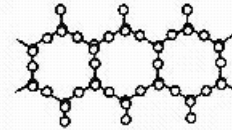
krzemiany grupowe  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$



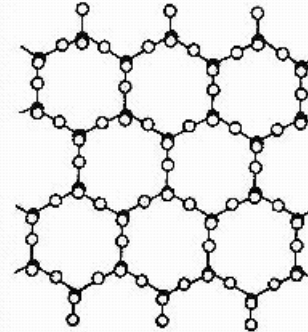
krzemiany pierścieniowe  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{-12}$



krzemiany łańcuchowe  $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{-4}$



krzemiany wstęgowe  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{-6}$



krzemiany warstwowe  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{-4}$

gdzie:

- - atom krzemu
- - atom tlenu

# Kalcyt

- Powstawanie lokalnych defektów generowanych przez promieniowanie (dawka promieniowania gamma 8 kGy) powstających w wyniku powtórnego pułapkowania uwolnionych elektronów
- Spadek twardości i modułu Younga w warstwie przypowierzchniowej monokryształu kalcytu na skutek gromadzenia się defektów

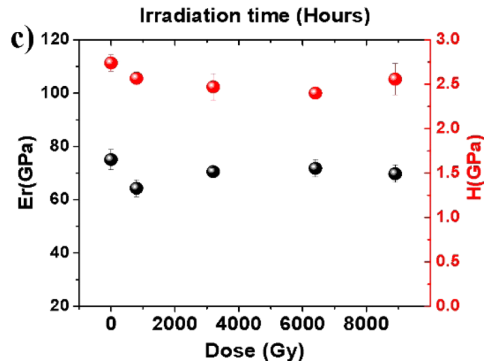


Figure 2. Values of Young modulus and hardness extracted from unload curves for (104) surface of calcite single crystals after the irradiation process (a) UV, where the inset shows the surface change of UV-irradiated crystals, images collected by optical microscope (bigger images shown in Figure S3), (b) X-ray, and (c)  $\gamma$ .

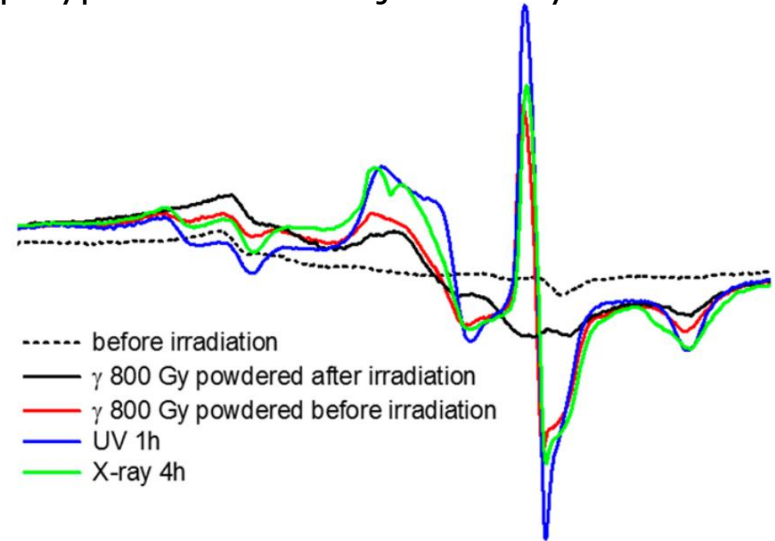
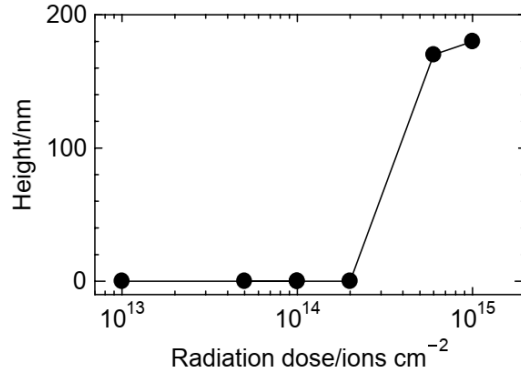


Figure 3. EPR spectra of powdered calcite (a) experimental spectra recorded before and after  $\gamma$ , UV, and X-ray irradiation,

# Kwarc

- Zmiana struktury krystalicznej oraz amorficznej na zdeformowaną strukturę amorficzną (*distorted amorphous quartz*) przy dawce odpowiednio  **$1 \times 10^{12}$**  i  **$0,1 \times 10^{12}$  Gy**.
- Zmianie towarzyszy zmiana gęstości z 2,65 na 2,27 g/cm<sup>3</sup>



**Fig. 3** The height of terrace emerged at the boundary of irradiated and unirradiated areas of crystalline quartz after immersing it in 1 mol/dm<sup>3</sup> NaOH solution at 353 K for 4 h

**Table 1** Critical doses for the degradation of concrete by radiation-induced alkali-silica reaction

Minerals in aggregate	Fast neutron (>0.1 MeV) (n/cm <sup>2</sup> )	Gamma and beta rays (Gy)
Crystalline quartz	$5 \times 10^{19}$	$5 \times 10^{11}$
Amorphous quartz	$1 \times 10^{19}$	$0.5 \times 10^{11}$

# Kwarc

- Powstawanie lokalnych defektów radiacyjnych przy dawkach promieniowania **50-300 kGy**
- Defekty mogą powodować zmianę koloru minerałów (zmianę współczynnika załamania światła)
- Defekty zarejestrowane w spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR)

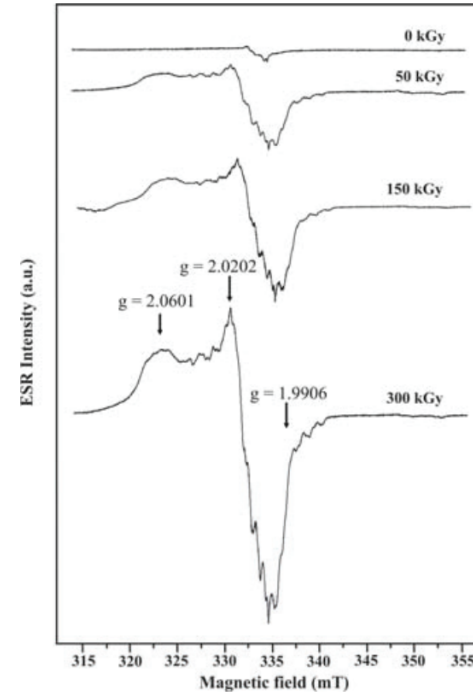


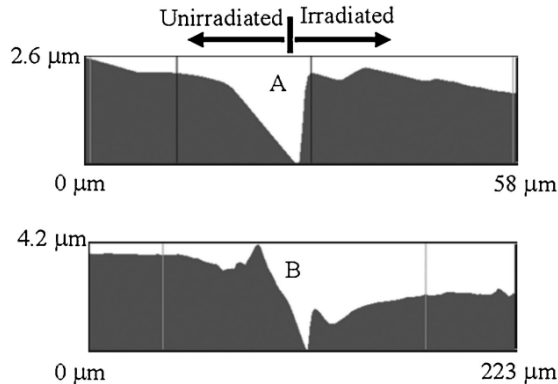
Fig. 4. The dependence of the ESR spectra of various  $\gamma$ -irradiated dose (i.e. 0, 50, 150, and 300 kGy) at low temperatures

Insiripong S., Kedkaew C., Thamaphat K., Chantima N., Limsuwan P., Kaewkhao J., Irradiation effect on natural quartz from Zambia, *Procedia Engineering*, 32 (2012) 83-89

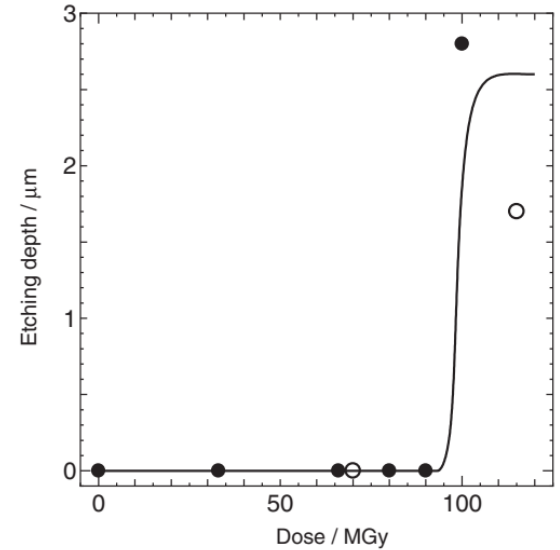


# Skalenie

- Amorfizacja struktury plagioklazów przy dawce granicznej **100 MGy**, a w konsekwencji wzrost rozpuszczalności w roztworze NaOH



**Fig. 2** AFM images of the cross section of plagioclase after irradiating with  $7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  electron beam at doses of 70 MGy (A) and 115 MGy (B) and then immersing in NaOH solution at 310 K for 8 h.



**Fig. 4** Effect of radiation dose on the etching depth of plagioclase irradiated with a 30 kV electron beam at a dose rate of  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . The etching depth was measured with a confocal laser microscope after immersing in  $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$  NaOH solution at 310 K for 8 h. The open circles indicate the etching depths shown in Fig. 2.

# Skalenie

- Ilości wymytych pierwiastków z bazaltu zanurzonego w wodzie są większe w przypadku próbek napromienionych
- Następuje liniowy wzrost szybkości ługowania głównych pierwiastków budujących plagioklasy, tj. Na, K, Ca (dawka do 7 kGy). Za mechanizm odpowiadają produkty radiolizy wody

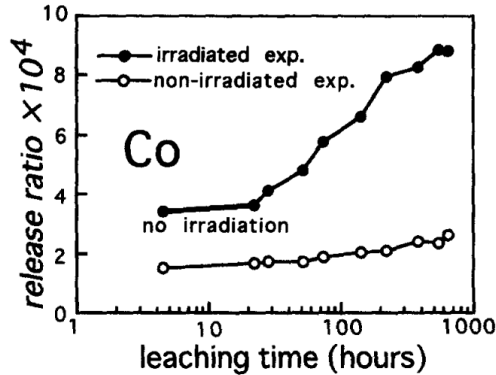


Fig. 3. The plot of *release ratio* of Co vs leaching time. Irradiation was not conducted between 1st and 2nd sampling for the irradiated experiment (see text).

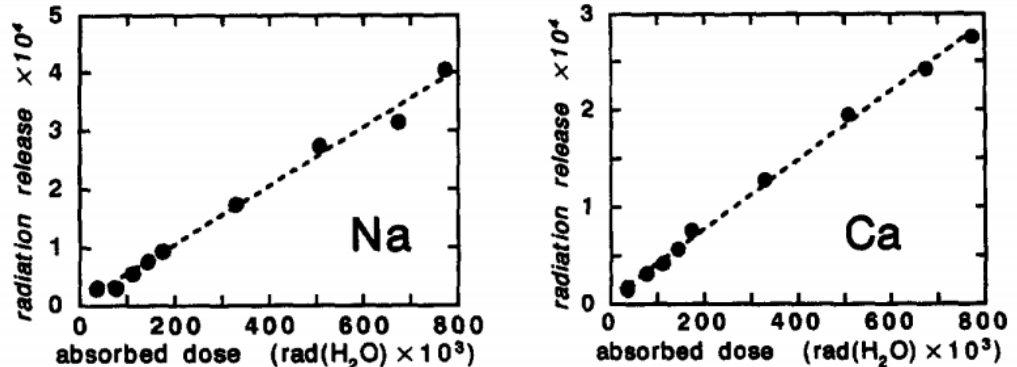


Fig. 4. The *radiation releases* of Na, K, Ca and Cs plotted vs absorbed dose of water.

Yonezawa C., Tanaka T., Kamioka H., *Water-rock reactions during gamma-ray irradiation, Applied Geochemistry*, 11 (1996) 461-469

# Minerały ilaste

- Promieniowanie gamma (dawka ok. 1 MGy) powoduje powstawanie lokalnych defektów radiacyjnych, zwłaszcza w kaolinicie. Wpływ na właściwości fizykochemiczne, tj. powierzchnię właściwą, pojemność wymiany kationów i krystaliczność, jest niewielki

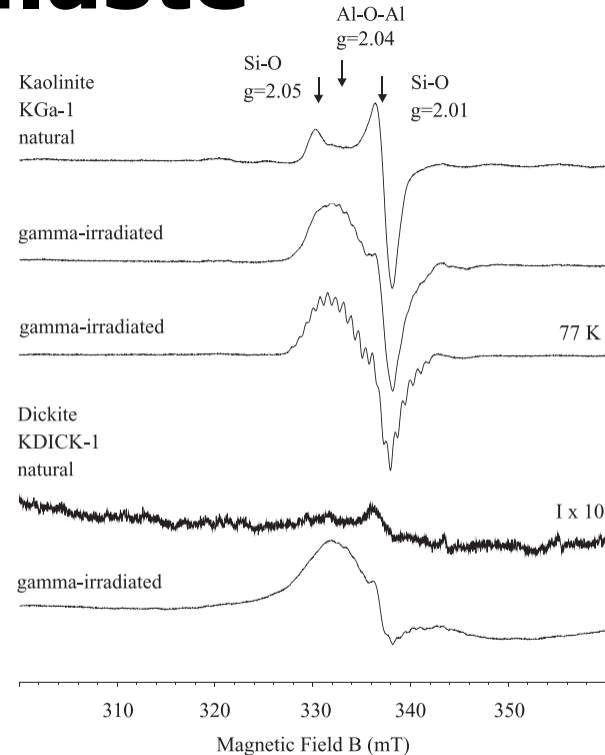


Fig. 3. EPR spectra (X band, 295 K) of kaolinite and dickite before and after gamma-irradiation showing the increase in the intensity of the radiation-induced defects centres. Note the decreasing intensity of the Si-O centre and the simultaneous increasing of Al-O-Al centre in kaolinite.

Plotze M., Kahr G., Hermanns Stengele R., *Alternation of clay minerals – gamma -irradiation effects on physicochemical properties, Applied Clay Science, 23 (2003) 195-202*

# Minerały ilaste

- Amorfizacja minerałów ilastych następuje przy dawce promieniowania **10-100 GGy**
- Zmiana struktury może potencjalnie zmienić charakterystyczne właściwości minerałów ilastych tj. retencję wody, pęcznienie, pojemność wymiany kationów i rozpuszczalność, jednak jednoznacznie nie wykazano tego w badaniach eksperymentalnych (dawki do 30 MGy)
- Dawka promieniowania 50 kGy nie miała wpływu na ługowanie minerałów ilastych z gruntów

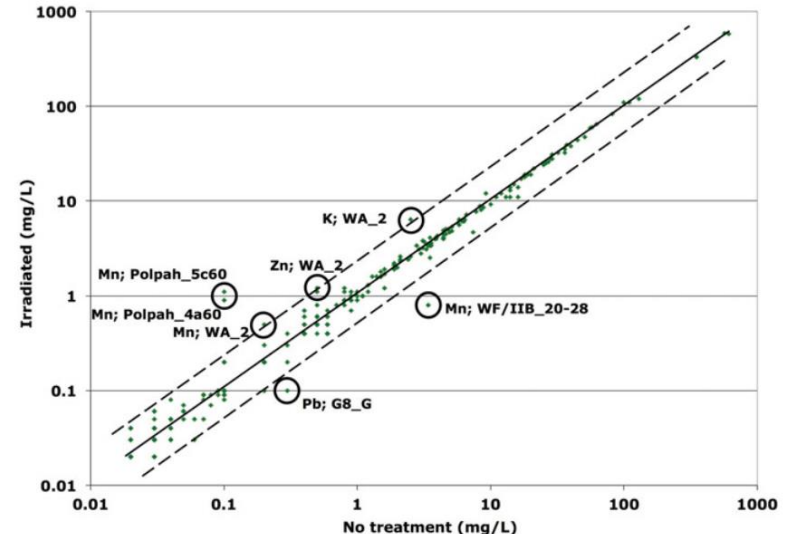


Figure 1. Concentration of all elements (Mg, Al, S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, and Pb) from the TCLP extractions of control (no treatment) versus irradiated samples ( $n = 230$  data points). A least-squares linear regression (solid line) and 95% prediction bands (dashed lines) are shown. The increased data scatter away from the regression line at concentrations  $< 1 \text{ mg l}^{-1}$  reflects greater analytical uncertainty associated with the ICP-AES determinations. Elements below practical quantitation limit (Table II) are not shown.

Allard T., Calas G., Radiation effects on clay mineral properties, *Applied Clay Science*, 43 (2009) 143-149

Gore D.B., Snape I., 50 kGy of gamma irradiation does not affect the leachability of mineral soils and sediments, *Powder Diffraction*, 29 (2014) S40-S46

# Stosowane metody badawcze

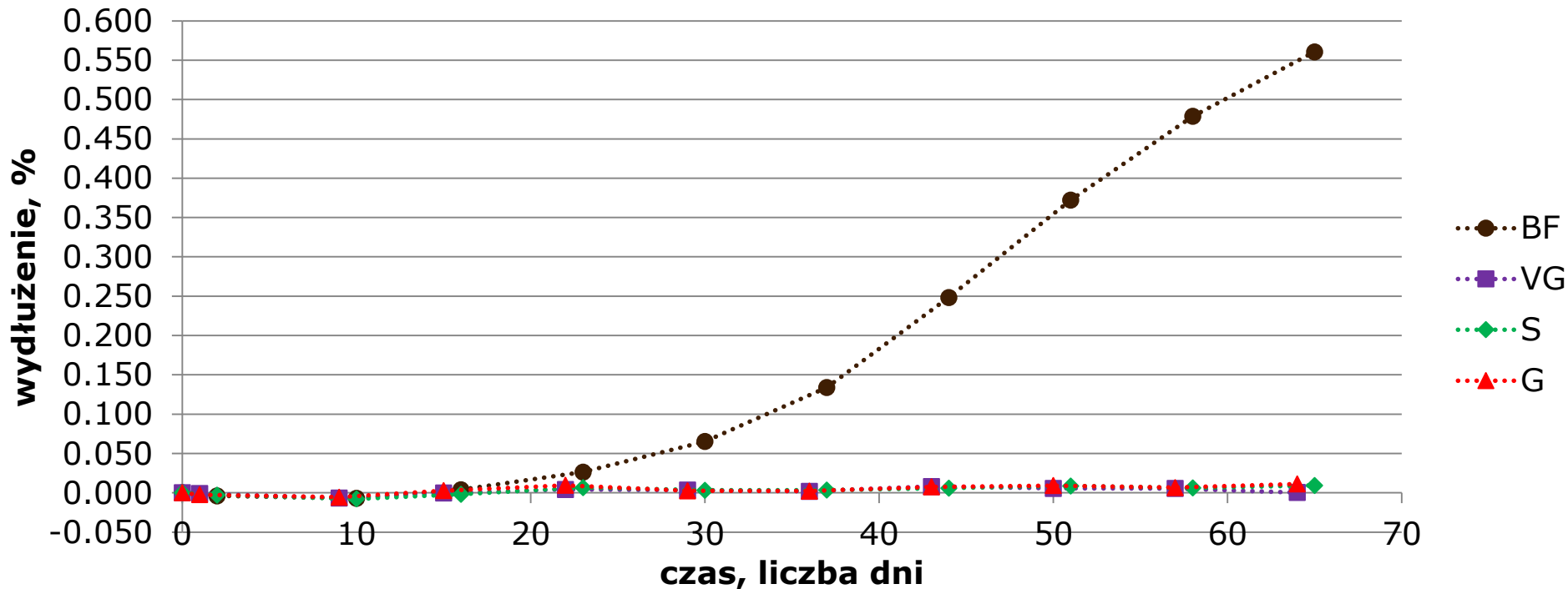
Metoda	Zastosowanie
Spektroskopia elektronowego rezonansu paramagnetycznego EPR	Detekcja defektów radiacyjnych
Dyfraktometria rentgenowska XRD z analizą Rietvelda	Badanie zmian struktury krystalicznej (Hinckley index)
Spektrometria w podczerwieni IR	Badanie zmian struktury krystalicznej
Metoda BET	Określanie powierzchni właściwej
Spektrometria emisji atomowej ICP-AES	Stężenie pierwiastków w roztworze
Chromatografia jonowa	Oznaczenie zawartości jonów w roztworze
Neutronowa analiza aktywacyjna INAA	Oznaczenie zawartości jonów w roztworze

# Literatura

- Kabacińska Z., Yate L., Wencka M., Krzymiński R., Tadyszak K., Coy E., Nanoscale Effects of Radiation (UV, X-ray, and  $\gamma$ ) on Calcite Surfaces: Implication for its Mechanical and Physico-Chemical Properties, *Journal of Physical Chemistry C* 121, 24 (2018) 13357-13369
- Ichikawa T., Koizumi H., Possibility of Radiation-Induced Degradation of Concrete by Alkali-Silica Reaction of Aggregates, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 39 (2002) 880-884
- Insiripong S., Kedkaew C., Thamaphat K., Chantima N., Limsuwan P., Kaewkhao J., Irradiation effect on natural quartz from Zambia, *Procedia Engineering*, 32 (2012) 83-89
- Ichikawa T., Kimura T., Effect of Nuclear Radiation on Alkali-Silica Reaction of Concrete, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 44 (2007) 1281-1284
- Yonezawa C., Tanaka T., Kamioka H., Water-rock reactions during gamma-ray irradiation, *Applied Geochemistry*, 11 (1996) 461-469
- Plotze M., Kahr G., Hermanns Stengele R., Alternation of clay minerals – gamma -irradiation effects on physicochemical properties, *Applied Clay Science*, 23 (2003) 195-202
- Allard T., Calas G., Radiation effects on clay mineral properties, *Applied Clay Science*, 43 (2009) 143-149
- Gore D.B., Snape I., 50 kGy of gamma irradiation does not affect the leachability of mineral soils and sediments, *Powder Diffraction*, 29 (2014) S40-S46

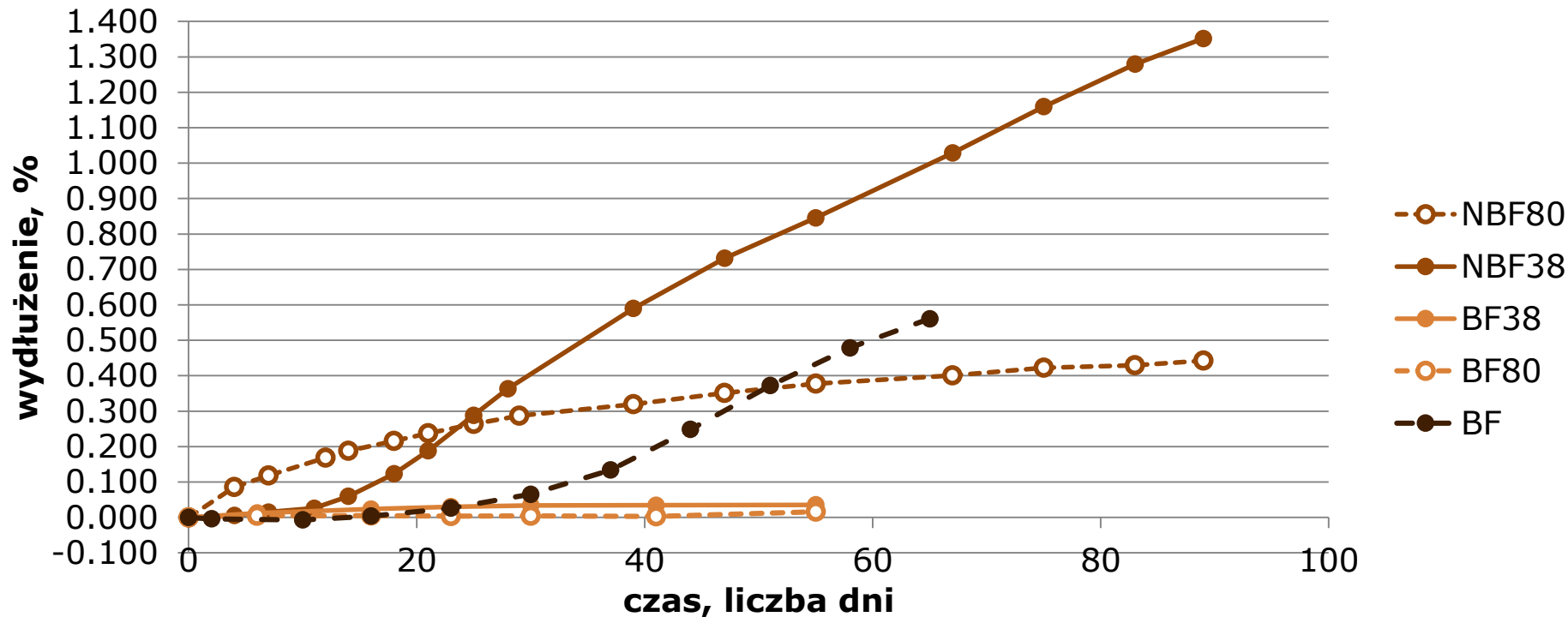
# Ekspansja w źródle promieniowania gamma

Wydłużenie próbek zapraw z badanymi kruszywami w funkcji czasu ekspozycji na promieniowanie gamma



# Ekspansja w źródle promieniowania gamma

Wydłużenie próbek zapraw z czarnym krzemieniem w funkcji czasu ekspozycji na promieniowanie gamma





# Dziękuję za uwagę

Praca została przygotowana jako rezultat badań finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu Nr V4-Korea/2/2018