

# Badania sorpcji metanu na węglu brunatnym z kopalni „Bełchatów”

ŁUKASZ ANIOŁ 

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

## Streszczenie

Artykuł koncentruje się na badaniu zdolności sorpcyjnej węgla brunatnego względem metanu. Badania wykonano na próbce pochodzącej z kopalni „Bełchatów”. Opisano wyzwania związane z detekcją metanu podczas eksploatacji złóż węgla brunatnego. Badania przeprowadzono sorpcjomacie wysokociśnieniowym. Uzyskana maksymalna zdolność sorpcyjna węgla względem metanu wyniosła  $3,27 \text{ cm}^3/\text{g}$  przy ciśnieniu 15 bar. Przeprowadzone badania są istotne w świetle nowych regulacji prawnych oraz rozporządzeń wprowadzanych przez Unię Europejską oraz wpisują się one w szerszy kontekst polityki klimatycznej oraz dążeń do neutralności emisyjnej.

**Słowa kluczowe:** sorpcja; metan; węgiel brunatny

## 1. Wstęp

Metan jest jednym z gazów cieplarnianych, a jego czas przebywania w atmosferze wynosi od 7 do 12 lat. Co istotne, jego zdolność do zatrzymywania ciepła jest aż 80 razy większa niż w przypadku dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Z tego względu emisje metanu odgrywają kluczową rolę w procesie globalnego ocieplenia. W ramach unijnych działań na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych wprowadzono szereg regulacji, w tym Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787. Jego celem jest redukcja emisji metanu w sektorze energetycznym, w tym również w kopalniach węgla brunatnego.

Wydobycie węgla brunatnego w kopalniach odkrywkowych wiąże się z emisją metanu, który naturalnie występuje w złożach tego surowca. Gaz ten uwalnia się podczas usuwania powierzchniowych warstw ziemi i skał w trakcie eksploatacji złoża. W przeciwieństwie do kopalń głębinowych, gdzie surowiec wydobywa się z głęboko położonych pokładów, kopalnie odkrywkowe zapewniają bezpośredni dostęp do złóż znajdujących się na powierzchni lub tuż pod nią. Choć taka metoda jest bardziej efektywna kosztowo, niesie ze sobą poważne konsekwencje środowiskowe.

Węgiel brunatny, jako istotny surowiec energetyczny, występuje w wielu regionach świata. W Europie jego największe pokłady znajdują się przede wszystkim w Niemczech, Polsce, Czechach, Serbii oraz Grecji. Niemcy są liderem w wydobyciu węgla brunatnego, szczególnie w regionach takich jak Nadrenia i Łużyce, gdzie surowiec ten stanowi kluczowe źródło energii elektrycznej [Kus i in., 2020]. Polska, dysponująca bogatymi złożami w Bełchatowie, Turku i Turowie, również zajmuje czołową pozycję w jego eksploatacji [Macuda i in., 2011; Baran i in., 2007]. W Grecji znaczące złoża znajdują się w regionach Kozani i Ptolemaida [Karasmanaki i in., 2020], natomiast w Serbii – w kopalniach Kolubara i Kostolac [Životić i in., 2024].

Emisja metanu podczas eksploatacji złóż ma istotny wpływ na globalny bilans emisji gazów cieplarnianych, zwłaszcza w kontekście międzynarodowych działań na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia. W wielu krajach podejmowane są inicjatywy mające na celu redukcję emisji tego gazu, m.in. poprzez uszczelnianie szybów oraz wdrażanie technologii umożliwiających jego wychwytywanie. Jednak realizacja tych rozwiązań często wiąże się z wysokimi kosztami oraz koniecznością dostępu do nowoczesnych technologii.

Oszacowanie ilości metanu uwalnianego do atmosfery podczas eksploatacji węgla brunatnego jest niezwykle trudne. Wynika to między innymi ze zmienności warunków geologicznych, zróżnicowania złóż oraz stosowanych technik wydobywczych. Proces wydobywania tego surowca prowadzi do uwalniania metanu do atmosfery, co znacząco zwiększa emisje gazów cieplarnianych pochodzących z działalności górniczej. W odpowiedzi na ten problem wprowadzono obowiązek monitorowania i raportowania emisji metanu w ramach systemu LDAR (Leak Detection and Repair – wykryj nieszczelność i napraw). Nowe regulacje mają na celu dokładniejsze określenie skali emisji oraz skuteczniejsze ograniczenie uwalniania metanu do atmosfery. W przeciwieństwie do kopalń podziemnych, gdzie poziom gazów można monitorować w kontrolowanych warunkach zamkniętych przestrzeni, w kopalniach odkrywkowych metan uwalnia się bezpośrednio do atmosfery. Utrudnia to zarówno jego wykrycie, jak i precyzyjne oszacowanie ilości emitowanego gazu, co stanowi poważne wyzwanie technologiczne.

Zasoby węgla brunatnego w Polsce koncentrują się przede wszystkim w centralnej części kraju, a całkowite zasoby pierwotne szacuje się na około 23,4 miliarda ton [Szufflicki i in., 2017; Gawlik i Mokrzycki, 2017]. Złoża te składają się głównie z humusowego węgla brunatnego o niskiej jakości, który występuje w postaci litotypów detrytycznych i ksylodetrytycznych. W przeciwieństwie do węgla kamiennego, charakteryzującego się mniejszą wilgotnością i większą pojemnością sorpcyjną względem gazów, węgiel brunatny może zawierać nawet do 50% wilgoci. Wysoka zawartość wody ma istotny wpływ na procesy sorpcyjne, ponieważ cząsteczki wody i gazu konkurują ze sobą o miejsca adsorpcyjne. Wraz ze wzrostem wilgotności zdolność adsorpcyjna znacząco maleje [Li i in., 2016; Fu i in., 2016].

Wysoka wilgotność węgla brunatnego znacząco utrudnia dokładne oszacowanie poziomu emisji metanu, ponieważ ten rodzaj węgla nie zatrzymuje gazów w taki sam sposób jak węgiel kamienny. Z powodu braku oficjalnych danych dotyczących emisji metanu z niemieckich kopalni węgla brunatnego, niezależny, niekomercyjny ośrodek analityczny Ember, specjalizujący się w polityce klimatycznej, posłużył się danymi pochodzącymi z Polski. W analizach wykorzystano informacje dotyczące emisji metanu z polskich kopalni węgla brunatnego [Sztekler i in., 2015; Agencja Rynku Energii S.A., 2014], uznając je za najbardziej zbliżone do warunków występujących w niemieckim sektorze wydobywczym.

W ramach pracy przeprowadzono badania zdolności sorpcyjnej metanu na węglu brunatnym pochodzącym z kopalni „Bełchatów”. Badania te mają na celu wstępne rozpoznanie potencjału akumulacyjnego węgla brunatnego względem metanu, w kontekście emisji CH<sub>4</sub> do atmosfery.

## 2. Metodologia

Badania sorpcyjne przeprowadzono na próbce węgla kamiennego pochodzącego z Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Wyznaczono wybrane właściwości fizyczne próbki:

- zawartość popiołu – 11%,
- gęstość – 1,47 g/cm<sup>3</sup>,
- porowatość – 38,4%,
- wilgoć – 55,4%.

Do badań próbka została odpowiednio przygotowana poprzez rozdrobienie i przesianie do klasy ziarnowej 0,20-0,25 mm.

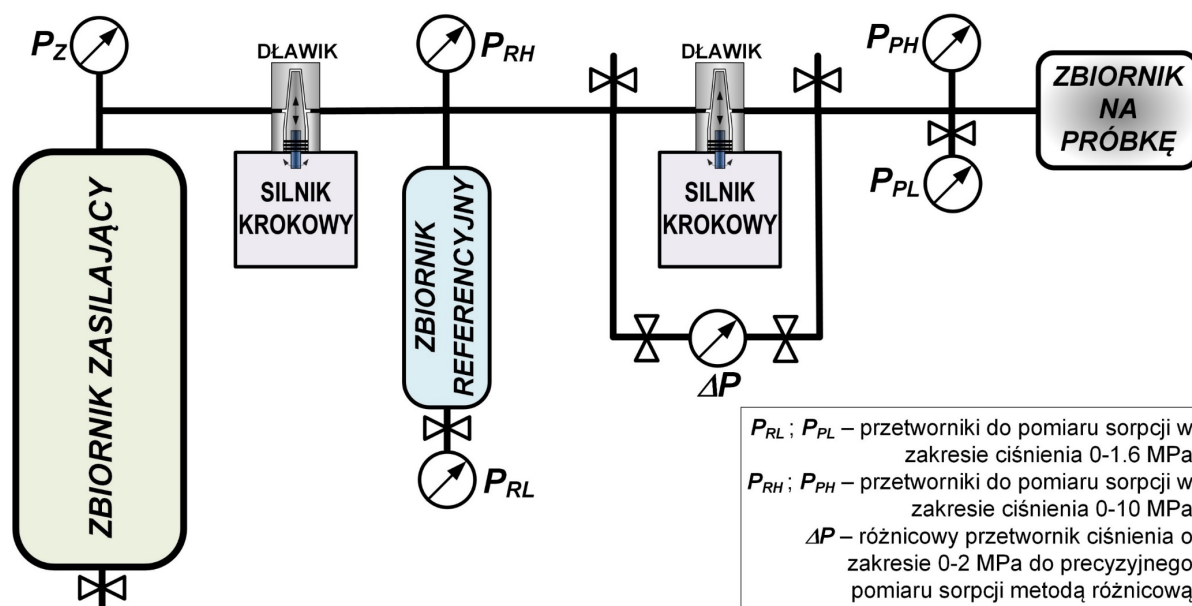
Badania sorpcyjne wykonano na sorpcjomacie wysokociśnieniowym, którego zasada działania opiera się na metodzie wolumetrycznej. Zasada działania urządzenia została szczegółowo opisana w pracy Kudasik i in. [2022]. Pomiar przeprowadzono w warunkach izotermicznych i izobarycznych. Stałą temperaturę 25°C zapewniała komora termostatyczna Q-Cell 60(Pol-Lab). Schemat ideowy sorpcjomatu wysokociśnieniowego przedstawiono na rysunku 1.

Procedura pomiarowa badań sorpcji metanu obejmowała kolejno: odpompowanie próbki do próżni przez 24 godziny, a następnie nasycanie próbki metanem do stanu równowagi sorpcyjnej, w kolejnych ciśnieniach 1 bar, 3 bar, 6 bar, 10 bar i 15 bar.

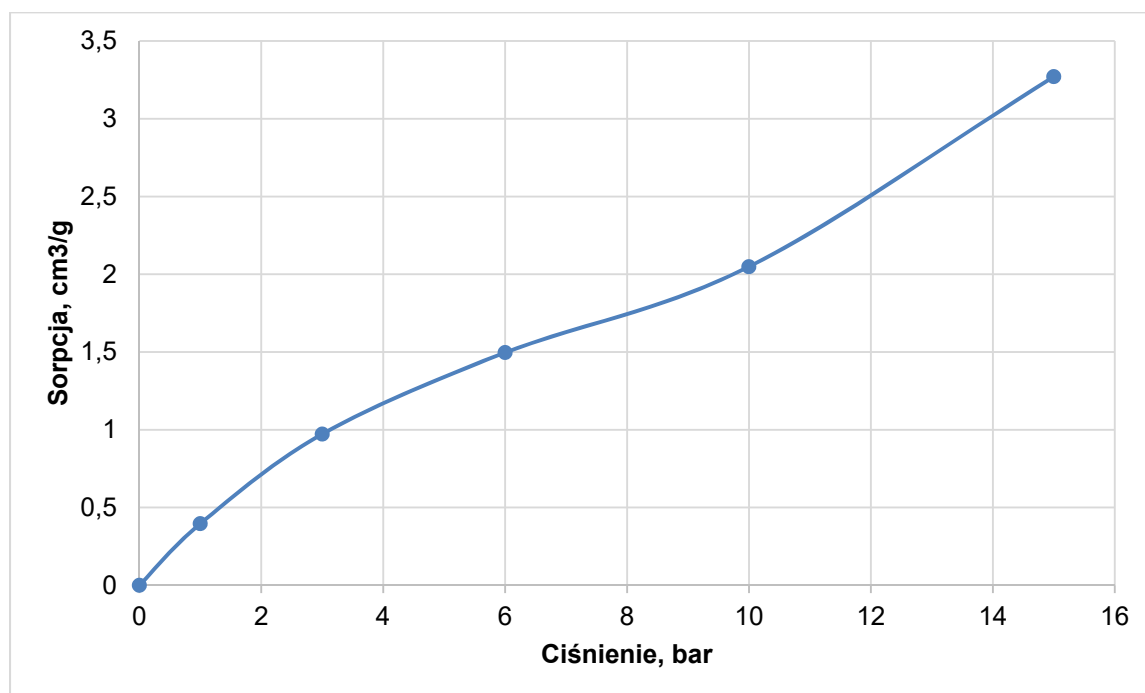
## 3. Wyniki

Otrzymał izotermę sorpcji Langmuira dla węgla w odniesieniu do metanu przedstawiono na rysunku 2.

W ciśnieniu atmosferycznym pojemność sorpcyjna węgla brunatnego wyniosła 0,39 cm<sup>3</sup>/g. Maksymalna pojemność sorpcyjna wyniosła 3,27 cm<sup>3</sup>/g dla ciśnienia 15 bar. Kształt izotermi sugeruje, że sorpcja



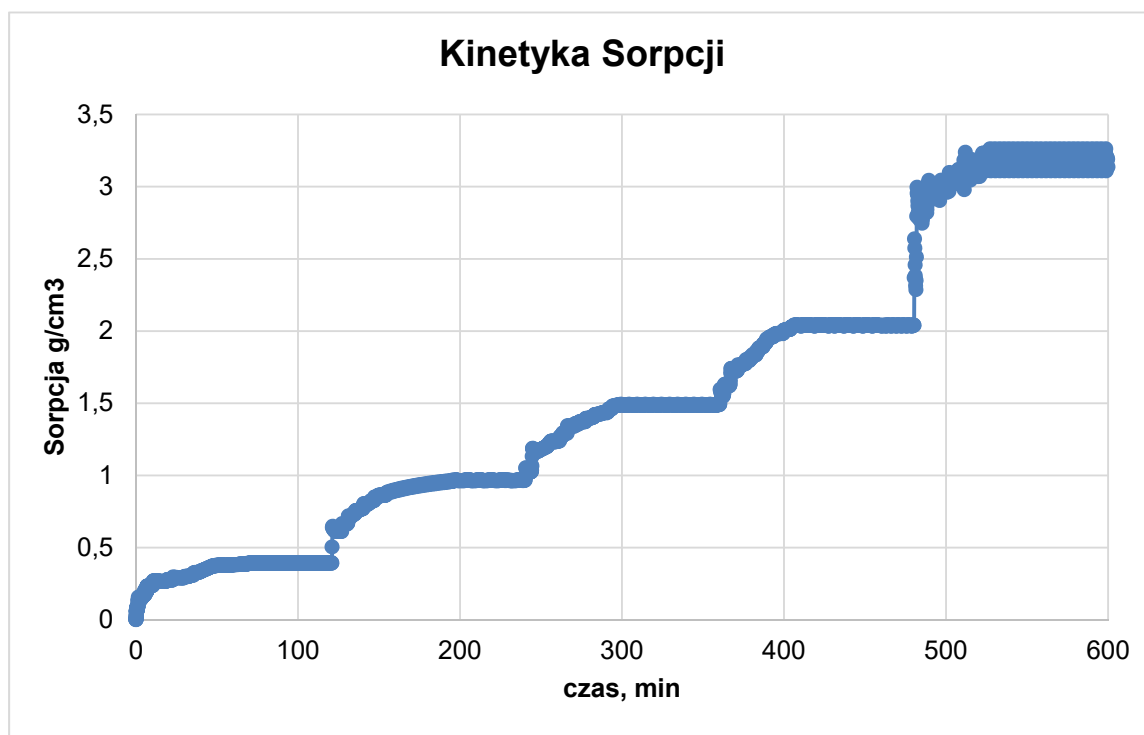
Rys. 1. Schemat ideowy sorpcjomatu wysokociśnieniowego [Anioł, 2023]



Rys. 2. Izoterma sorpcji metanu próbki węgla brunatnego „Belchatów”

przebiega zgodnie z mechanizmem typowym dla adsorpcji fizycznej (Izoterma Langmuira). Otrzymaną kinetykę sorpcji dla węgla w odniesieniu do metanu przedstawiono na rysunku 3.

Krzywa kinetyki sorpcji wykazuje typowy przebieg dynamicznego procesu adsorpcji. W początkowej fazie obserwuje się gwałtowny wzrost ilości zaadsorbowanego gazu, co świadczy o szybkim zajmowaniu najbardziej dostępnych i aktywnych miejsc sorpcyjnych. Jest to charakterystyczne dla pierwszego etapu adsorpcji, gdzie transport cząsteczek gazu do powierzchni adsorbentu odbywa się głównie poprzez dyfuzję zewnętrzną. W miarę upływu czasu tempo sorpcji zaczyna maleć, a przyrost zaadsorbowanej ilości gazu stopniowo się stabilizuje. Wskazuje to na przejście procesu do fazy równowagowej. Ostatecznie krzywa stabilizuje się, co sugeruje stan bliski nasyceniu. Całkowity czas potrzebny do osiągnięcia stanu równowagi (około 600 minut) wskazuje, że proces sorpcji w badanym materiale zachodzi relatywnie powoli, co może być konsekwencją złożonej, mikroporowatej struktury węgla brunatnego.



Rys. 3. Kinetyka sorpcji metanu próbki węgla brunatnego „Bełchatów”

#### 4. Wnioski

Przedstawiona w pracy analiza przepisów związanych z koniecznością redukcji metanu, jako gazu cieplarnianego, z kopalń odkrywkowych, wskazuje, że niezbędne będzie dokładne określanie zdolności sorpcyjnych węgla brunatnego. Uzyskane wyniki badań sorpcji metanu wykazały niską zdolność sorpcyjną węgla brunatnego, kilkukrotnie mniejszą niż wykazują typowe węgle kamienne. Należy podkreślić, że przeprowadzone badania sorpcyjne wykonane zostały na próbce suchej. Obecność wilgoci w próbce, w znacznym stopniu ograniczyłoby zdolność do sorpcji metanu. Badania zdolności sorpcyjnej wilgotnych próbek węgla brunatnego stanowiąc będą kontynuację pracy.

Na podstawie przeprowadzonych badań można również stwierdzić, że węgiel brunatny wykazuje zdolność sorpcyjną względem metanu, szczególnie w warunkach podwyższonego ciśnienia i obniżonej temperatury. Charakter procesu sorpcji wskazuje na jego fizyczny mechanizm, co oznacza, że metan jest wiązany na powierzchni i wewnątrz porów węgla bez tworzenia trwałych wiązań chemicznych. Parametry takie jak ciśnienie sorpcji, pojemność sorpcyjna odgrywają kluczową rolę w określeniu skali emisji metanu do atmosfery podczas eksploatacji złóż węgla brunatnego. Dane uzyskane w warunkach laboratoryjnych pozwalają na lepsze zrozumienie mechanizmów sorpcji i mogą zostać wykorzystane przy projektowaniu rozwiązań ograniczających emisję metanu. Eksploatacja węgla brunatnego, oprócz emisji dwutlenku węgla, wiąże się również z emisją metanu, który posiada znacznie większy potencjał cieplarniany. Dlatego ograniczenie emisji tego gazu może w istotny sposób przyczynić się do zmniejszenia negatywnego wpływu działalności górniczej na klimat.

#### Literatura

- [1] Anioł Łukasz, Przegląd metod i narzędzi pomiarowych do badań właściwości sorpcyjnych ośrodków porowatych, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, 2023, Tom 25, nr 1-4.
- [2] Baran P., Hołda S., Macuda J., Nodzeński A., Zawisza L., Badania zawartości metanu w węglach brunatnych, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2007, Tom 23, Zeszyt Specjalny 3.
- [3] Dutka B., Godyń K., Coalification as a Process Determining the Methane Adsorption Ability of Coal Seams, Archives of Mining Sciences, 2021, 66 (2).

- [4] Evangelia Karasmanaki, Konstantinos Ioannou, Konstantinos Katsaounis, Georgios Tsantopoulos, The attitude of the local community towards investments in lignite before transitioning to the post-lignite era: The case of Western Macedonia, Greece, *Resources Policy*, 2020, Volume 68.
- [5] Fu H., Tang D., Xu H., Tao S., Xu T., Chen B., Yin Z., Abrupt changes in reservoir properties of low-rank coal and its control factors for methane adsorbability, *Energy and Fuels*, 2016, Volume 30.
- [6] Gawlik Lidia, Mokrzycki Eugeniusz, Paliwa kopalne w krajowej energetyce – problemy i wyzwania, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 2017, Tom 20, Zeszyt 4.
- [7] Karol Sztekler, Maciej Komorowski, Kamil Wal, Modelowanie procesu ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z układów energetycznych, *Energetyka*, 2015, nr 11.
- [8] Kudasik M., Anioł Ł., Skoczylas N., The high-pressure sorptomat – a novel apparatus for volumetric sorption studies under isobaric high gas pressure conditions, *Metrology and Measurement Systems*, 2022, vol. 29 (4).
- [9] Kudasik M., Skoczylas N., Pajdak A., The Repeatability of Sorption Processes Occurring in the Coal-Methane System during Multiple Measurement Series, *Energies*, 2017, 10 (5).
- [10] Kus J., Dolezych M., Schneider W., Hofmann T., Visiné Rajczy E., Coal petrological and xylotomical characterization of Miocene lignites and in-situ fossil tree stumps and trunks from Lusatia region, Germany: Palaeoenvironment and taphonomy assessment, *International Journal of Coal Geology*, 2020, Volume 217.
- [11] Langmuir I., The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 1918, Volume 40.
- [12] Li X., Fu X., Liu A., An H., Wang G., Yang X., Wang L., Wang H., Methane adsorption characteristics and adsorbed gas content of low-rank coal in China, *Energy and Fuels*, 2016, Volume 30.
- [13] Liu Jinfeng, Spiers Christopher J., Permeability of Bituminous Coal to CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> Under Fixed Volume and Fixed Stress Boundary Conditions: Effects of Sorption, *Frontiers in Earth Science*, 2022, Volume 10.
- [14] Macuda J., Nodzeński A., Wagner M., Zawisza L., Sorption of methane on lignite from Polish deposits, *International Journal of Coal Geology*, 2011, Volume 87, Issue 1.
- [15] Miodrag Životić, Nenad Nikolić, Dragoslava Stojiljković, Danica Bajuk-Bogdanović, Dragana Životić, Devolatilization behaviour of Kolubara and Kostolac lignite (Serbia) during the combustion process: A case study, *International Journal of Coal Geology*, 2024, Volume 295.
- [16] Skoczylas N., Kudasik M., Pajdak A., Braga L.T.P., Study of CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> exchange sorption in coal under confining pressure conditions, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2023, Volume 124.
- [17] Songhang Zhang, Shuheng Tang, Zhongcheng Li, Bing Liu, Ruixin Wang, Effect of pore structure on competitive sorption and diffusion of mixed methane and carbon dioxide in anthracite, South Qinshui Basin, China, *International Journal of Coal Geology*, 2022, Volume 253.
- [18] Szufflicki M., Malon A., Tymiński M. (red.), Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2016 r., Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, 2017.
- [19] Taraba Boleslav, Flow calorimetric insight to competitive sorption of carbon dioxide and methane on coal, *Thermochemica Acta*, 2011, Volume 523, Issues 1–2.
- [20] Wierzbicki M., Pajdak A., Baran P., Zarebska K., Isotheric heat of sorption of methane on selected hard coals, *Przemysł Chemiczny*, 2019, 98(4).

## Methane Sorption Studies on Lignite from the „Belchatow” Mine

### Abstract

The article focuses on investigating the sorption capacity of lignite with respect to methane. The study was conducted on a sample obtained from the “Belchatow” lignite mine. It discusses the challenges related to methane detection during lignite deposit exploitation. The experiments were carried out using a high-pressure sorption apparatus. The maximum sorption capacity of lignite for methane was determined to be 3.27 cm<sup>3</sup>/g at a pressure of 15 bar. The conducted research is significant in light of new legal regulations and directives introduced by the European Union, and it aligns with the broader context of climate policy and efforts toward emission neutrality.

**Keywords:** sorption; methane; lignite