

Streszczenie

Podziemne zgazowanie węgla (PZW) kamiennego jest jedną z perspektywicznych metod jego wykorzystania, pozwalającą na zagospodarowanie złóż niemożliwych do eksploatacji tradycyjnymi metodami górnictwami lub ekonomicznie nieopłacalnych. Pomimo dużego zainteresowania technologią i możliwościami jakie ze sobą niesie szereg nierozwiązanych problemów technologicznych związanych z bezpieczeństwem prowadzenia procesu nie pozwala na wdrożenie go na skalę przemysłową. Jednym z nich jest aspekt bezpieczeństwa środowiskowego, w tym geologicznego i powierzchni terenu oraz stateczności górotworu. Wysoka temperatura towarzysząca procesowi podziemnego zgazowania oddziałuje na węgiel i skały otaczające pokład, co znacznie wpływa na zmianę ich właściwości fizycznych, w tym geomechanicznych i hydrogeologicznych. Zmiany, głównie rozkładu naprężeń w górotworze, w istotny sposób wpływają na powstanie zjawisk dynamicznych, na przykład stref zawału nad zgazowywanym pokładem. W konsekwencji, może to zagrażać bezpieczeństwu i skuteczności realizacji procesu.

Celem naukowym pracy doktorskiej była ocena wpływu temperatury na wybrane właściwości fizyczne, hydrogeologiczne i geomechaniczne skał płonnych, które mogą stanowić otoczenie potencjalnych georeaktorów podziemnego zgazowania węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Realizacja celu naukowego wymagała realizacji celów szczegółowych, wśród których należy wymienić:

- zdefiniowanie kryterium wyboru poligonów badawczych;
- ustalenie metodyki badań;
- przeprowadzenie badań laboratoryjnych na próbkach wybranych skał;
- zdefiniowanie miary oceny wpływu temperatury na parametry geomechaniczne skał płonnych;
- analizę parametrów wybranych właściwości, w celu ustalenia prognozowanego przebiegu zmian wartości poszczególnych parametrów geomechanicznych skał o zróżnicowanej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (w stanie powietrzno-suchym), ustalonej według klasyfikacji M. Bukowskiej (2012).

Ważną częścią pracy doktorskiej było wskazanie możliwości zastosowania wyników badań w praktyce górnictwej, poprzez opracowanie modelu numerycznego symulującego proces PZW, w zakresie prognozy rozkładu naprężeń i przemieszczeń wokół potencjalnej komory georeaktora oraz ocena możliwości ustalenia wartości współczynnika wpływu temperatury na wybrane parametry geomechaniczne piaskowca z Kopalni Doświadczalnej „Barbara” ogrzewanego laboratoryjnie i po przeprowadzonym procesie podziemnego zgazowania węgla.

Zgodnie z przedstawionym celem naukowym, przeprowadzono badania eksperymentalne na kilkudziesięciu seriach skał karbońskich, zalegających w bezpośrednim otoczeniu pokładów węgla – ilowcach i piaskowcach o różnym uziarnieniu, pobranych w różnych rejonach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, z obecnie eksploatowanych grup stratygraficznych. Sprawia to, że po raz pierwszy tego typu badania eksperymentalne mają tak szeroki zakres dla skał GZW. Ponadto, nowym zagadnieniem poruszonym w pracy jest również zbadanie geomechanicznych parametrów pokrytycznych skał, uzyskanych w procesie obciążania próbek w serwosterowalnej maszynie wytrzymałościowej. Badania zmian odkształcenia resztkowego i wytrzymałości resztkowej skał poddanych oddziaływaniu temperatury w aspekcie odkształcalności i nośności pokrytycznej, są nowatorskie w tym zakresie i zasługują na szczególną uwagę w dyskusji nad statecznością górotworu karbońskiego, po procesie podziemnego zgazowania węgla.

W rozdziale 1 rozprawy doktorskiej opisano wprowadzenie do podjętej problematyki badawczej, uzasadnienie jej wyboru, omówiono charakterystykę celów naukowych oraz zakres prac jaki został zrealizowany w dysertacji. W rozdziale 2 przedstawiono stan wiedzy w temacie podjętego zagadnienia, który obejmował charakterystykę podziemnego zgazowania węgla, stan wiedzy na temat rozkładu temperatury w górotworze, w wyniku prowadzenia procesu PZW oraz wpływu temperatury na właściwości fizyczne, w tym mechaniczne skał. W rozdziale 3 omówiono kryterium wyboru poligonów badawczych oraz opisano skały pobrane do badań laboratoryjnych, w celu oceny zmiany ich właściwości pod wpływem oddziaływania temperatur od 100 do 1000-1200°C. Tematyka podjęta w rozdziale 4 stanowi opis metodyki przeprowadzania badań właściwości fizycznych skał, do których zaliczono ubytek masy oraz zmianę gęstości objętościowej. W rozdziale tym zamieszczono także opis zmian makroskopowych próbek poddanych działaniu wybranych temperatur oraz wyniki i analizę badań eksperymentalnych. Wpływ temperatury na właściwości hydrogeologiczne (porowatość i współczynnik filtracji) badanych skał karbońskich opisano w rozdziale 5, gdzie omówiono metodykę badań oraz wyniki badań i analizę zmian. Ważną częścią pracy było ustalenie wpływu temperatury na właściwości geomechaniczne, wyznaczone z krzywej naprężeniowo-odkształceniowej, uzyskanej w procesie obciążania próbek skał, w serwostrerowalnej

maszynie wytrzymałościowej, w całym zakresie jej odkształcania. Na tej podstawie wyznaczono prognozowany współczynnik wpływu temperatury (rozdział 6) na właściwości naprężeniowe, naprężeniowo-odkształceniowe oraz odkształceniowe poprzedzone analizą wpływu temperatury na parametry je opisujące (wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, wytrzymałość resztkową, moduł Younga, odkształcenie resztkowe, oraz odkształcenie poprzeczne), kolejno opisane w rozdziałach 7, 8 i 9. Uzyskane wartości współczynnika wpływu temperatury na poszczególne parametry geomechaniczne, mają znaczenie prognostyczne. W związku z tym, mogą być wykorzystywane w praktyce górniczej do realizacji zadań związanych ze statecznością górotworu w wyniku zmiany wytrzymałości, sprężystości i odkształcalności skał zalegających w otoczeniu pokładów węgla w GZW, które mogą być rozpatrywane jako potencjalne miejsca podziemnego zgazowania węgla. Temat ten opisano w rozdziale 10. W rozdziale 11 przedstawiono podsumowanie pracy doktorskiej oraz wnioski jakie zostały sformułowane na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Wyniki badań właściwości fizycznych skał poddanych oddziaływaniu wybranych temperatur wykazały wzrost ubytku masy ze zmniejszeniem się uziarnienia badanych skał, jak również zaobserwowano intensywność zachodzących zmian w charakterystycznych dla nich przedziałach temperatur. Dla próbek skał ilastych i skał okruchowych – piaskowców o różnym uziarnieniu ogrzewanych w temperaturze 600 i 1000°C, generalnie, stwierdzono zmniejszenie się gęstości objętościowej w porównaniu z wartością tego parametru ustaloną w stanie powietrzno-suchym. W przypadku piaskowców średnioziarnistych stwierdzono, na podstawie analizy wartości gęstości objętościowej uzyskanej po ogrzewaniu próbek do temperatury 600°C, zarówno wzrost gęstości objętościowej jak i zmniejszenie się jej wartości w porównaniu ze stanem powietrzno-suchym. Uzasadniono to związkiem z przemianami mineralnymi, występującymi w tej temperaturze, w szczególności z rekryształizacją kwarcu (573°C).

Badania zmian właściwości hydrogeologicznych skał w wybranych temperaturach (23, 600 i 1000°C) wykazały, generalnie, wzrost porowatości i przepuszczalności. Działanie wybranych temperatur na badane próbki skał spowodowało, generalnie, wzrost ich porowatości otwartej w porównaniu z jej wartością oznaczoną w stanie powietrzno-suchym. Największe wzrosty porowatości zaobserwowano dla skał o stosunkowo małej porowatości otwartej stwierdzonej w stanie powietrzno-suchym. Dla próbek wykazujących większą porowatość w stanie powietrzno-suchym, obserwowane zmiany, generalnie, nie były duże i nie różniły się znacząco po działaniu temperatury 1000°C, w stosunku do tych, oznaczonych w temperaturze 600°C. Wzrost wartości współczynnika filtracji po działaniu temperatury 1000°C w przypadku ilowców nie spowodował zmian w charakterze ich przepuszczalności (próbki pozostały nieprzepuszczalne). Wśród piaskowców o różnym uziarnieniu obserwowano wzrost współczynnika filtracji do wartości przyporządkowującej im półprzepuszczalny charakter, bez względu na ich przepuszczalność określoną w warunkach temperatury pokojowej.

Największe zróżnicowanie zmian parametrów fizycznych i hydrogeologicznych zaobserwowano wśród piaskowców najmłodszych ogniw litostratygraficznych.

Otrzymane wyniki badań geomechanicznych – wartości parametrów naprężeniowych, naprężeniowo-odkształceniowych i odkształceniowych – wskazują, że jednym z kryteriów, które można brać pod uwagę do wykazania różnic w zachowaniu się badanych skał, w wyniku oddziaływania różnych temperatur w zakresie do 1000-1200°C jest ich wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie w stanie tzw. powietrzno-suchym, w temperaturze pokojowej.

W temperaturze 100°C i wyższych, były obserwowane wyraźne zmiany wytrzymałości ilowców i piaskowców, ze wzrostem ich wytrzymałości oznaczonej w stanie powietrzno-suchym, w temperaturze pokojowej. Iłowce i piaskowce o bardzo małej i małej wytrzymałości na ściskanie wzmacniają swoją strukturę i wzrasta ich wytrzymałość. Iłowce o średniej i dużej wytrzymałości oraz piaskowce o dużej wytrzymałości w stanie powietrzno-suchym wyraźnie się osłabiają i zmniejszają wytrzymałość. Jedynie piaskowce wykazujące średnią wytrzymałość w stanie powietrzno-suchym zajmują pozycję między nimi. Dotyczy to piaskowców każdej z trzech klas ziarnowych. Iłowce o dużej wytrzymałości zmniejszały wytrzymałość już od początkowych temperatur wygrzewania a dla temperatury 1000°C wykazywały wyraźne i duże spadki wytrzymałości w porównaniu z ilowcami o małej wytrzymałości młodszych ogniw litostratygraficznych. Piaskowce o dużej wytrzymałości, generalnie, wykazują wyraźne osłabienie w porównaniu z wytrzymałością oznaczoną w stanie powietrzno-suchym, w całym zakresie temperatury wygrzewania. Jednakże można się spodziewać występowania pojedynczych pików maksymalnej wytrzymałości powyżej wytrzymałości powietrzno-suchej, w wyższych temperaturach. Tendencje zmian wytrzymałości skał karbońskich w wyniku oddziaływania temperatury od 100 do 1000-1200°C zależą przede wszystkim od ich wytrzymałości początkowej określonej w warunkach temperatury pokojowej w stanie tzw. powietrzno-suchym a nie od uziarnienia. Im większa wytrzymałość skał (iłowców lub

piaskowców) zalegających w otoczeniu bezpośrednim pokładu tym mogą być gorsze warunki górotworu po procesie podziemnego zgazowania węgla, ale niekoniecznie prowadzące do destrukcji górotworu wokół georeaktora. Ma to znaczenie praktyczne dla oceny stateczności górotworu i wyrobisk górniczych sąsiadujących z georeaktorem.

Dla iłwców i piaskowców o wytrzymałości od bardzo małej do dużej (według klasyfikacji ustalonej dla GZW) jest prognozowany wzrost wartości wytrzymałości resztkowej powyżej wartości wyznaczonej w temperaturze pokojowej, w warunkach powietrzno-suchych, do temperatury krytycznej charakterystycznej dla nich, po przekroczeniu której zmniejsza się wartość tego parametru w porównaniu z początkową wartością.

Wyniki przeprowadzonych badań modułu Younga iłwców wskazują na przesuwanie się granicy zmniejszenia się sprężystości tych skał, poniżej sprężystości ustalonej w warunkach powietrzno-suchych, w kierunku wyższej temperatury wraz ze zmniejszaniem się wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, ustalonej w warunkach badania przeprowadzonego w temperaturze pokojowej. Charakter zmian modułu Younga próbek piaskowców o różnym uziarnieniu i wytrzymałości na ściskanie, które wygrzewano w temperaturze do 1000 – 1200°C jest podobny do zmian wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie tych próbek. Badania piaskowców o bardzo małej, małej i średniej wykazały, że po początkowym wzroście wartości modułu Younga, po osiągnięciu temperatury krytycznej następuje wyraźne zmniejszenie się sprężystości tych skał. Piaskowce o dużej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mogą osiągnąć wartości modułu Younga poniżej wartości określonej w temperaturze pokojowej już od początku procesu wygrzewania próbek.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wyników stwierdzono, że wpływ wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie na wartość odkształcenia resztkowego w porównaniu z wpływem uziarnienia piaskowców jest jednoznaczny w zakresie zmian tego parametru – wzrostu lub zmniejszenia się wartości w porównaniu z wynikami uzyskanymi w badaniach w temperaturze pokojowej. Wzrost odkształcenia resztkowego ze wzrostem temperatury ogrzewania próbek iłwców i piaskowców wynika, między innymi, ze zmniejszania się sprężystości tych skał w stosowanym w eksperymentach zakresie temperatury.

Łowce o małej i średniej powietrzno-suchej wytrzymałości na ściskanie, do wartości temperatury krytycznej, wykazywały wzrost wartości liczby Poissona powyżej wartości początkowej. Po przekroczeniu temperatury krytycznej nastąpiło zmniejszenie się wartości liczby Poissona poniżej wartości początkowej w przeciwieństwie do iłwców o dużej wytrzymałości, które w całym zakresie temperatury osiągały wartości tego parametru poniżej początkowej wartości. Piaskowce o różnym uziarnieniu zwiększały lub zmniejszały wartość liczby Poissona w porównaniu z wartością ustaloną w warunkach powietrzno-suchych, w temperaturze pokojowej.

Badania laboratoryjne iłwców i piaskowców należących do różnych ogniw litostratygraficznych górnego karbonu w GZW wykazały, znaczące zmiany właściwości geomechanicznych w zależności od temperatury prognozowanej w ich otoczeniu. W związku z tym, w górotworze, w którym może być prowadzony proces PZW, naprężenia termiczne powstające w rezultacie jego prowadzenia mogą oddziaływać na stateczność górotworu w wyniku niekorzystnego rozkładu naprężeń i wielkości odkształceń. Pokazały to wyniki modelowania numerycznego, będącego przykładem zastosowania uzyskanych wyników badań w praktyce górniczej, przy rozpatrywaniu możliwości zastosowania niekonwencjonalnych metod eksploatacji złóż węgla kamiennego.