

Michał KRUSZEWSKI¹, Volker WITTIG¹

WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZACZYNU CEMENTOWEGO ORAZ FORMACJI SKALNYCH NA STAN NAPRĘŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W OTULINIE CEMENTOWEJ W WARUNKACH OTWORU GEOTERMALNEGO

Główne cele operacji cementowania rur okładzinowych w otworze geotermalnym to przede wszystkim zapewnienie dobrego połączenia kolumny rur okładzinowych z górotworem, ochrona przed korozją, przeciwdziałanie pozarurowego przepływu płynów zbiornikowych oraz ochrona i odizolowanie wyższych warstw wodonośnych. Otulina cementowa w otworze powinna zapewniać efektywną integralność strukturalną oraz efektywnie scalić konstrukcję otworu z górotworem. Obecnie międzynarodowe wymogi API dla projektowania otuliny cementowej ograniczone są jedynie do zapewnienia wytrzymałości stwardniałego zaczynu cementowego na ściskanie o wysokości minimum 6,9 MPa i przepuszczalności mniejszej niż 0,1 mD podczas dwunastomiesięcznej produkcji. Obecne standardy są kwestionowane przez liczne środowiska naukowe, które udowodniły, że wysoka wytrzymałość na ściskanie stwardniałych zaczynów cementowych zarówno w otworach naftowych, jak i geotermalnych nie gwarantuje efektywnej izolacji oraz stabilności otuliny cementowej w otworze. Badania podkreśliły również, że w momencie doboru zaczynu cementowego w otworach wiertniczych, właściwości mechaniczne mieszanki cementowej, jak i otaczającego górotworu powinny być brane pod uwagę przy analizie naprężeń. Normy przemysłu geotermalnego w Nowej Zelandii (NZS2403:2015) są podstawą dla projektowania głębokich otworów geotermalnych na świecie. W dużych szczegółach przedstawiono tam wymagania projektowe doboru rur okładzinowych, jednak zdecydowanie pominięto wymogi projektowe dla otuliny cementowej.

¹ International Geothermal Center (GZB) Lennershofstraße 140, 44801 Bochum; e-mail: michal.kruszewski@hs-bochum.de, volker.wittig@hs-bochum.de

Konwencjonalna mieszanka cementowa stosowana w otworach geotermalnych na całym świecie to cement portlandzki API klasy G lub H z dużą ilością mączki krzemionkowej (ok. 40%) dodawanej w celu kontroli retrogresji wytrzymałości zaczynu cementowego, która występuje pod wpływem temperatur z rzędu 110°C. Inne dodatki do cementu wiertniczego w otworach geotermalnych mogą zawierać środki opóźniające lub przyspieszające wiązanie, środki stosowane przy likwidacji ucieczek zaczynu, środki redukujące tarcie, środki przeciwpieniące etc. dodawane w zależności od cementowanej sekcji rur okładzinowych oraz parametrów złożowych. W poniższej pracy zastosowano istniejące już matematyczne modele w celu przewidzenia oddziaływania oraz obliczenia naprężeń w systemie stal–cement–skała, aby pokazać wpływ mechanicznych właściwości zaczynu cementowego oraz otaczających formacji skalnych na naprężenia występujące w otulinie cementowej na przykładzie otworu geotermalnego. Pośrednim celem pracy jest wykazanie nieadekwatności obecnych metod stosowanych w momencie projektowania zaczynu cementowego w otworach geotermalnych. W pracy oszacowano również wpływ temperatury, stanu naprężeń w górotworze oraz ciśnień w otworze na naprężenia w otulinie cementowej. Geometria modelu stal–cement–skała została dobrana na podstawie popularnych konstrukcji głębokich otworów geotermalnych. Zdecydowanie zaleca się, aby otulina cementowa w otworach geotermalnych opierała się na wynikach z analizy przeprowadzonej w poniższej pracy, niż na ograniczonym wymogu wytrzymałości stwardniałego zaczynu cementowego na ściskanie.

Słowa kluczowe: systemy geotermalne, wiertnictwo, zaczyn cementowy, opróbowanie otworów geotermalnych, naprężenia otuliny cementowej

THE INFLUENCE OF MECHANICAL MATERIAL PROPERTIES OF CEMENT AND ROCK FORMATIONS ON STRESSES IN THE WELLBORE CEMENT UNDER DEFINED RESERVOIR CONDITIONS OF A GEOTHERMAL WELL

The main purposes of primary cementing operations in any geothermal well is to support casing strings, prevent corrosion or influx of geothermal fluids and provide zonal insulation. Cement sheaths in the well have to maintain structural integrity and provide good bonding between casing and surrounding rock formations. Current wellbore cement design guidelines by the API for geothermal wells are based solemnly on strength requirements, which imply that geothermal cements must have a compressive strength of minimum 6.9 MPa (with a permeability less than 0.1 mD) throughout 12-month downhole exposure. This approach was questioned by many recent studies, which concluded that the high compressive strength

of cements in either petroleum or geothermal wells does not guarantee perfect zonal insulation. Such studies emphasised also that wellbore cement design should take into account variety of other material properties of casing material, cement as well as surrounding rock formations. The New Zealand Code of Practice from 2015 is a basis for design of any deep geothermal well, however as it is focused exclusively on casing selection and assessment of casing stresses during a well's lifecycle, it lacks standardization for wellbore cement design.

Conventionally used cement blends in geothermal wells around the world, especially in high enthalpy reservoirs, include API class G or H Portland cement with high silica flour content in order to control the strength retrogression (i.e. compressive strength decrease and permeability increase) which for Portland cement takes place under exposure to temperatures of 110°C. Other additives to wellbore cement might include retarders, accelerators, fluid loss agents, friction reducers or defoamers, depending on the casing section being cemented and reservoir conditions. In this study, existing theoretical analytical models for determining casing-cement-rock interaction are applied to show the influence of mechanical material properties of cement and rock formations on the resultant stresses in wellbore cement under defined reservoir conditions of the geothermal well. The other aim is to prove the inadequacy of current the wellbore cement design methods in the geothermal industry. The effect of temperature, uniform and isotropic far-field stresses as well as internal well pressure were also evaluated. The geometrical model of casing-cement-rock interaction was based on conventional casing program of high-temperature geothermal wells. It is highly recommended that the wellbore cement design of future geothermal wells in Poland and elsewhere be based on results from stress analysis as carried out in this research, than on the limited requirement of compressive strength alone.

Keywords: geothermal systems, drilling, geothermal wellbore cement, well completion, wellbore cement stresses

