

Adam Fic, Jan Składzień, Janusz Skorek

Instytut Techniki Ciepłej
Politechnika Śląska

WYZNACZANIE KONCENTRACJI WODORU W UKŁADZIE LOKALIZACJI AWARII ELEKTROWNI JĄDROWEJ PODCZAS AWARII TYPU LOCA

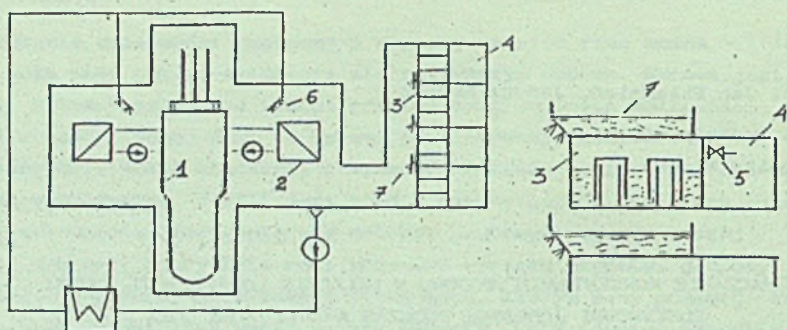
Streszczenie. Opierając się na opracowanym modelu zjawisk cieplnych wewnątrz obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego podczas awarii typu LOCA (Loss-of-Coolant Accident) wyznaczono przebieg koncentracji wodoru w atmosferze gazowej wypełniającej obudowę. Przedstawiono wyniki obliczeń i określono możliwości zapłonu wodoru.

1. WSTĘP

Układ lokalizacji awarii (ULA) jest systemem przeciwdziałającym przedostawaniu się do otoczenia produktów radioaktywnych w warunkach najpoważniejszych awarii reaktora jądrowego. Jedną z możliwych awarii tego typu jest rozerwanie rurociągu obiegu pierwotnego i gwałtowny wypływ wody chłodzącej do obudowy bezpieczeństwa (tzw. awaria LOCA).

ULA (rysunek 1) jest tak zaprojektowany, aby podczas awarii LOCA nie uległ rozszczelnieniu, a także aby po pewnym czasie zapewnić spadek ciśnienia wewnątrz ULA poniżej ciśnienia atmosferycznego. Ważnym elementem ULA reaktora WWR - 440 jest wieża lokalizacji awarii (WLA) z umieszczonymi jedna nad drugą półkami wodnymi (3). Półkę tę stanowi komora wypełniona wodą połączona z przestrzenią obudowy zamknięciem syfonowym. Ponadto półki wodne są połączone zaworami zwrotnymi z tzw. pułapkami powietrznymi (4). Zawór zwrotny (5) umożliwia przepływ gazu wyłącznie od półki wodnej do pułapki powietrznej.

W pierwszej fazie awarii LOCA następuje gwałtowny wzrost ciśnienia w strefie wypływu chłodziwa. Roztwór powietrza i pary wodnej przepływa przez zamknięcie syfonowe do wnętrza półek wodnych, przy czym następuje prawie całkowita kondensacja pary wodnej. Ponadto część roztworu gazowego wpływa do pułapek powietrznych. Po pewnym czasie ciśnienie w ULA wyrównuje się. Następnie na skutek działania systemu zraszania aktywnego i odpływu ciepła do ścian ciśnienie w pomieszczeniach obiegu pierwotnego staje się niższe od ciśnienia na półkach wodnych. Woda z półek zaczyna być wysysana, spływa do zbieraczy wody (7) i rozpyla się w WLA. W wyniku kondensacji pary na kropkach rozpylonej wody następuje spadek ciśnienia poniżej ciśnienia otoczenia.



1-reaktor, 2-wytwornica pary, 3-półka wodna, 4-pułapka powietrzna,
5-zawór zwrotny, 6-system zraszania aktywnego, 7-zbieracz

Rys.1. Schemat układu lokalizacji awarii reaktora WVER-440
Fig.1. Scheme of containment system of VVER - 440 reaktor

Awarii typu LOCA towarzyszy generacja wolnego wodoru. Obecność wodoru w atmosferze gazowej wewnątrz ULA stwarza zagrożenie zapłonu, a nawet eksplozji roztworu gazowego. Z tego względu określenie koncentracji wodoru jest z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy siłowni jądrowej równie ważne, jak wyznaczenie przebiegu ciśnienia i temperatury wewnątrz ULA podczas awarii. Do określenia koncentracji wodoru adaptowano opracowany model zjawisk ciepłno-przepływowych wewnątrz ULA podczas awarii LOCA. Opis założeń modelu przedstawiono w pracy [1].

2. PROBLEMY ZWIĄZANE Z OBECNOŚCIĄ WODORU

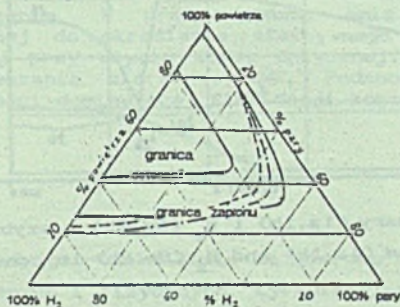
Podczas awarii LOCA w ULA reaktora jądrowego pojawia się wodór. Istotnymi procesami prowadzącymi do pojawienia się wodoru w ULA są: reakcja cyrkonu z wodą w reaktorze podczas LOCA, radioliza wody w reaktorze, uwolnienie wodoru nagromadzonego w obiegu pierwotnym, rozkład hydrazyny zawartej w wodzie awaryjnego układu chłodzenia rdzenia oraz w wodzie układu zraszania aktywnego.

W początkowej fazie awarii LOCA najistotniejsze jest uwalnianie wodoru do ULA przez nieszczelność rurociągu obiegu pierwotnego. W przypadku EJ Żarnowiec uwalnianie to rozpoczyna się po około 1400 s. licząc od momentu zerwania rurociągu i do czasu 2200 s wydostaje się około 300 kg wodoru (dane na ten temat podano w [2]).

W obecności tlenu może nastąpić samozapłon wodoru (nawet detonacyjny), co prowadziłoby do groźnego w skutkach wzrostu ciśnienia. Z drugiej

strony obecność pary pogarsza warunki spalania wodoru, a dodatkowo w początkowej fazie awarii, przed uwalnianiem wodoru, znaczna część powietrza zostaje wyparta z boksów wytwornic pary do WLA. Oprócz tego w ULA bywają stosowane specjalne układy rekombinacji wodoru, aby nie dopuścić do jego wybuchu.

Na rys.2. pokazany jest diagram [2] ilustrujący warunki spalania wodoru w atmosferze powietrza i pary. Dotyczy on warunków, jakie mogą wystąpić w ULA podczas LOCA. Jak widać, nie może dojść do zapłonu wodoru, jeżeli udział objętościowy pary jest większy od 57%, a do zapłonu detonacyjnego, jeżeli ten udział jest większy od 33%.



Rys.2. Granice zapłonu i detonacji dla roztworu H₂, powietrza i pary
Fig.2. Limits of flammability for the mixture of H₂, air and steam.

— 20-86 C, 0.101MPa, --- 149 C, 0.101MPa, - - 149 C, 0.892MPa

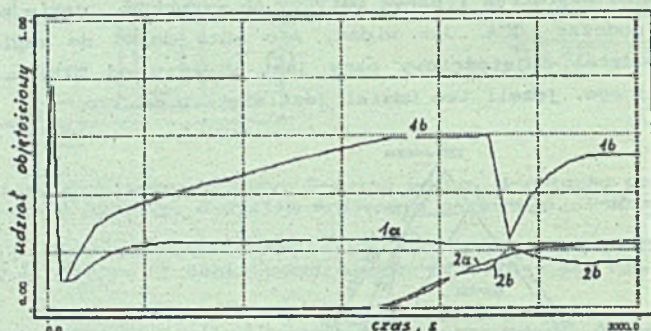
3. REZULTATY OBLICZEN NUMERYCZNYCH

Obliczenia numeryczne zmian koncentracji pary, powietrza i wodoru w ULA EJ z reaktorem WWR-440 wykonano za pomocą zmodyfikowanego programu obliczeniowego HEPCAL [1]. W porównaniu z wcześniejszą wersją programu założono dodatkowo, że faza gazowa każdej strefy jest jednorodną mieszaniną pary traktowanej jako gaz rzeczywisty i gazu doskonałego, będącego roztworem powietrza i wodoru (dotychczas było to powietrze).

Obliczenia wykonano dla ULA EJ Zarnowiec dla dwóch wariantów: sprawnego ULA (a) oraz braku zasilania elektrycznego do 2200 s (b). W drugim wariantie przyjęto, że nie działa między innymi układ zraszania aktywnego. W obu wariantach założono, że nie działa układ rekombinacji wodoru. Wyniki obliczeń w postaci wykresów udziałów objętościowych pary, powietrza i wodoru w szybie WLA pokazano na rysunku 3. W wieży tej udział pary jest mniejszy niż w pomieszczeniach obiegu pierwotnego i sytuacja jest w niej groźniejsza.

W przypadku sprawnie działającego ULA po około 2400 s parametry w WLA wchodzą w obszar spalania detonacyjnego. Konieczne jest funkcjonowanie układu rekombinacji wodoru.

W drugim rozpatrywanym wariancie do 2200 s układ rekombinacji wodoru nie może działać. Do tego momentu zawartość pary w WLA jest jednak tak duża, że nie wystąpi samozapłon wodoru. Warunki gwałtownie pogarszają się po uruchomieniu układu zraszania aktywnego, głównie na skutek krótkotrwałego wystąpienia zaraz potem zraszania biernego w WLA. W tym momencie powinien więc też działać układ rekombinacji wodoru.



Rys. 3. Zmiany koncentracji pary (1a,1b) i H_2 (2a,2b) w szybie WLA

Fig. 3. Concentration of steam (1a,1b) and H_2 (2a,2b) in condenser shaft

LITERATURA

- [1] Składzień J., Fic A., Skorek J.: Analiza numeryczna działania układu lokalizacji awarii elektrowni jądrowej Żarnowiec. Praca badawcza niepublikowana. Gliwice 1990.
- [2] Strupczewski A.: Hydrogen generation and flammability hazards in Żarnowiec NPP with bubbler/condenser containment under severe accident condition. Institute of Atomic Energy. sierpień 1990.

ПРОБЛЕМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ АВАРИИ ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ВО ВРЕМЯ АВАРИИ ТИПА ЛОКА

Резюме

В работе представлен модель теплообмена в системе локализации аварии реактора ВВЕР-440 учитывающая водород, который находится в этой системе. Приведены результаты расчетов концентрации водорода в СЛА и связаны с этой проблемы.

CALCULATIONS OF HYDROGEN CONCENTRATION WITHIN ACCIDENT LOCALIZATION SYSTEM OF NUCLEAR POWER PLANT DURING LOSS-OF-COOLANT ACCIDENT

Summary

Basis on the model of thermal hydraulic phenomena occurring in containment of nuclear reactor during LOCA the concentration of hydrogen in gaseous atmosphere within containment has been evaluated. Numerical results and limits of flammability hazards is presented.