

Streszczenie popularno-naukowe projektu

Rosnące zapotrzebowanie na energię na świecie spowodowane szybkim uprzemysłowieniem i wzrostem populacji, a tym samym zwiększeniem zużycia paliw kopalnych i emisji CO₂, skupia uwagę na odnawialnych źródłach energii (OZE). Jedno z najmniej popularnych OZE związane jest z naturalnym występowaniem różnych ciekłych roztworów. Różnice w stężeniach między dwoma roztworami można wykorzystać do wytworzenia energii użytecznej przez zastosowanie kontrolowanego procesu mieszania czystego rozpuszczalnika i jego roztworu (lub mieszania dwóch roztworów o różnym stężeniu) poprzez przepływ rozpuszczalnika przez półprzepuszczalną membranę. Przepływ rozpuszczalnika zachodzi od obszaru o wysokim stężeniu do obszaru o niskim stężeniu i jest znany jako osmoza. Proces ten charakteryzuje się różnicą ciśnień (ciśnieniem osmotycznym) między obydwoma obszarami. Podwyższone ciśnienie po jednej stronie membrany oraz przepływ składnika można następnie wykorzystać do generacji energii użytecznej. Najpowszechniejszymi naturalnymi ciekłymi roztworami są woda jako rozpuszczalnik z solami jako substancjami rozpuszczonymi. Naturalne mieszanie wody rzecznej o niskim stężeniu soli ze słoną wodą morską (lub oceaniczną) występuje w ujściach rzek. Przyjmując średnie zasolenie wody oceanicznej równe 35 g/l oraz pomijając zasolenie świeżej wody, stwierdzono, że średnie ciśnienie osmotyczne na Ziemi osiąga wartość 2.7 MPa. Energia użyteczna może być uzyskana nie tylko przez zmieszanie wody rzecznej i oceanicznej/morskiej, ale również np.: wody morskiej ze skoncentrowanymi ściekami komunalnymi, wody morskiej ze stężoną wodą słoną otrzymywaną z procesu odwróconej osmozy, wody ściekowej pochodzącej z przemysłu lub wody geotermalnej o dużej zawartości soli z oczyszczonymi ściekami komunalnymi lub wodą gruntową o niskim stężeniu rozpuszczonych składników.

Jednym z najbardziej obiecujących sposobów pozyskiwania energii z różnicy stężeń soli w roztworach jest **ciśnieniowo powstrzymywana osmoza (Pressure-Retarded Osmosis, PRO)**. Opiera się ona na zastosowaniu stałej różnicy ciśnień między dwoma roztworami, np. roztworami wodnymi o różnych stężeniach soli. Skutkuje to przepływem czystej wody przez membranę z roztworu rozcieńczonego o niskim ciśnieniu do roztworu o wysokim stężeniu soli i podwyższonym ciśnieniu oraz zatrzymaniem substancji rozpuszczonej (soli) w obszarze rozcieńczonym. Ze względu na zastosowanie podwyższonego ciśnienia w stężonym roztworze (ale niższego niż osmotyczne) transport wody jest ciągły. Przepływ rozpuszczalnika z niskociśnieniowego roztworu rozcieńczonego do stężonego roztworu o wysokim ciśnieniu powoduje wzrost jego ciśnienia. Następnie przepuszczona woda o podwyższonym ciśnieniu może być wykorzystana do napędzania turbiny i generowania energii elektrycznej.

Koncepcja generowania energii użytecznej z wykorzystaniem procesu mieszania wody o niskiej i wysokiej zawartości soli z zastosowaniem roztworów występujących naturalnie oraz z usuwaniem powstałego roztworu do środowiska, czyli przy użyciu **otwartego cyklu** przepływu roztworu, przyciągnęła uwagę naukowców i zaowocowała zbudowaniem pierwszej eksperymentalnej elektrowni hydro-osmotycznej wykorzystującej proces PRO. Elektrownia ta powstała w Tofte (Norwegia) w 2009 r. i była eksploatowana do 2013 r. przez Statkraft Company. Od tego czasu zbudowano lub rozpoczęto budowę kilku pilotażowych instalacji na całym świecie. Jednak zauważono, że efektywność elektrowni opartych na procesie PRO i działających w cyklu otwartym jest ograniczona przez wiele czynników (np. dostęp, a także ograniczone zasolenie wody morskiej oraz przepływy wody rzecznej, zjawiska fizyczne i działanie membran półprzepuszczalnych, itp.). Dlatego zaproponowano inną koncepcję opartą na **cyklu zamkniętym**, w której proces mieszania związany z wytwarzaniem energii użytecznej następuje po regeneracji stężenia rozpuszczonych substancji, np. przy użyciu ciepła. Jako czynnik roboczy można wykorzystać niektóre roztwory syntetyczne, mające bardziej korzystne właściwości i dające znacznie wyższe gęstości mocy z membrany. Do regeneracji roztworów mogą być stosowane niskotemperaturowe źródła ciepła, takie jak energia słoneczna, energia geotermalna z płytkich odwiertów, ciepło z biomasy oraz ciepło pochodzące z procesów przemysłowych lub elektrowni. Jednak zastosowanie obiegów zamkniętych z alternatywnymi czynnikami roboczymi wymaga badań zarówno procesów transportowych zachodzących w membranach, jak i nad zwiększeniem ich efektywności. Narzędzia (modele & metody) niezbędne do przeprowadzenia takich analiz zostaną opracowane w tym projekcie.

Pierwszym rezultatem projektu będzie nowy kompleksowy i mikro-makroskopowy model przepływu rozpuszczalnika przez membranę (uwzględniający mikrostrukturę membrany, przepływ nieizotermiczny oraz w stanach przejściowych, interakcje przepływu rozpuszczalnika przez membranę z przepływami poprzecznymi płynów o niskim i wysokim stężeniu po obu stronach membrany). Model można następnie wykorzystać do zaprojektowania, przetestowania i zoptymalizowania efektywności nowych membran do konwersji energii w nowych przyszłościowych obiegach zamkniętych. Drugim rezultatem projektu będzie opracowanie metody do analizy różnych zamkniętych układów PRO oraz do ich optymalizacji pod kątem sprawności konwersji energii. Metoda ta umożliwi porównywanie różnych konfiguracji układów z obiegiem zamkniętym i dostosowywanie ich konfiguracji do dostępnego źródła energii odnawialnej lub odpadowej.