

Michał BODZEK¹, Krystyna KONIECZNY²

¹INSTYTUT PODSTAW INŻYNIERII ŚRODOWISKA POLSKIEJ AKADEMII NAUK
²POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI,
INSTYTUT INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW

FLUOR W ŚRODOWISKU WODNYM - ZAGROŻENIA I METODY USUWANIA

FLUORIDE IN THE WATER ENVIRONMENT - HAZARDS AND REMOVAL METHODS

Występowanie fluorków (F^-) w wodach naturalnych jest związane z ich obecnością w skorupie ziemskiej jak i aktywnością przemysłową człowieka. O ile obecność jonów F^- w wodzie do picia w ilości 0,5-0,7 mg/l zabezpiecza przed próchnicą zębów, to ich nadmiar jest uważany, jako poważny problem zdrowotny. Regularne spożywanie wysoce fluorowanej wody zawierającej 1,5-4 mg F/l, wywołuje wiele chorób związanych z tkanką kostną (fluoroza, artretyzm i osteoporoza), chorobę Alzheimera, utratę pamięci i inne neurologiczne dolegliwości. Według *World Health Organization*, a także przepisów w naszym kraju, maksymalne stężenie fluorków w wodzie do picia nie może przekraczać 1,5 mg/l, a rekomendowany jest zakres 0,5-1 mg/l.

Opracowano szereg metod usuwania fluorków, które można podzielić na trzy grupy procesów:

- koagulacja i wytrącanie,
- adsorpcja /wymiana jonowa,
- membranowe techniki separacji.

W procesie strącania wapnem fluorki usuwane są z wody w wyniku powstawania trudno rozpuszczalnego CaF_2 oraz współstrącania z $Mg(OH)_2$. Usuwanie fluorków do poziomu dopuszczalnego w wodzie do picia może również zapewnić koagulacja siarczanem glinowym.

Wymagane dawki koagulantu są jednak bardzo duże, a optymalna wartość pH wynosi 5,5-7,0. Poza bardzo dużym zużyciem koagulantu, wadą tej metody, podobnie jak poprzedniej, jest również duża ilość powstających osadów pokoagulacyjnych. Innym rozwiązaniem jest elektrokogulacja, w której koagulant jest generowany *in situ* przez utlenienie metalowego materiału anody wykonanego najczęściej z aluminium lub żelaza.

Do usuwania fluoru z wody stosuje się adsorpcję. Najczęściej jako adsorbenty wykorzystuje się aktywowany i impregnowany tlenek glinu, tlenki innych metali, aktywowane gliny i surowce mineralne, materiały węglowe, stałe przemysłowe i rolnicze odpady, a ostatnio warstwowe podwójne wodorotlenki oraz bio- i nanosorbenty. Fluorki mogą być usuwane z wody w procesie wymiany jonowej z wykorzystaniem silnie zasadowych żywic anionowymiennych zawierających czwartorzędowe amoniowe grupy funkcyjne.

W ostatnich latach wiele uwagi zostało poświęconych technikom membranowym ze względu na ich wydajność i niezawodność w usuwaniu jonów F^- z wód gruntowych. Stosuje się przede wszystkim odwróconą osmozę (RO), nanofiltrację (NF), elektrodializę (ED), dializę Donnana, jak również procesy zintegrowane koagulacja – mikrofiltracja/ultrafiltracja. RO i NF są powszechnie stosowanymi metodami membranowymi do usuwania fluorków z wód bogatych w ten jon. W przypadku produkcji wody do picia, należy jednak wziąć pod uwagę nie tylko usunięcie jonu F^- , ale także częściową demineralizację wody surowej. Membrany RO do odsalania wody zatrzymują, bowiem 99% soli z wody, co oznacza praktycznie całkowitą eliminację fluoru. Lepszym rozwiązaniem jest proces NF, który jest eksploatowany pod niższym ciśnieniem transmembranowym niż RO; niższy jest również stopień demineralizacji wody. Zastosowanie ED do usuwania substancji fluoru z wody jest korzystne, ponieważ metoda pozwala nie tylko na separację jonów, ale również na ich odzyskiwanie. ED charakteryzuje się małą wrażliwością na sezonowe zmiany stężenia fluoru, dobrą selektywnością i niskim zapotrzebowaniem na chemikalia. Dializa Donnana eksploatowana z membraną anionowymienną, w której siłą napędową jest gradient stężenia, może być efektywną i prostą metodą usuwania fluorków z wody.