

Robert MAZURCZUK
Anna KWAK
Kazimierz SZYSZKA
Waldemar MALISZEWSKI
Łukasz MARKIEWICZ
Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego

ROZWÓJ TECHNOLOGII I URZĄDZEŃ DO OCZYSZCZANIA WODY NA BAZIE OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO- TECHNICZNYCH WOJSKOWEGO INSTYTUTU TECHNIKI INŻYNIERYJNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono osiągnięcia WITI w zakresie wdrażania technologii uzdatniania wód powierzchniowych i rozwiązań technicznych stosowanych w wojskowych filtrach i stacjach oczyszczania wody. Pokazano typoszeregi filtrów małych, średnich i dużych oraz ich kolejnych modernizacji. W rozdziale „Opracowanie metody usuwania z wody radionuklidów i zastosowanie jej w wojskowych filtrach oczyszczania wody” przedstawiono w skrócie źródła możliwych skażeń promieniotwórczych wody, przydatność typowych procesów oczyszczania wody stosowanych w warunkach polowych do usuwania z niej radionuklidów, wady dotychczas stosowanych technologii oraz zasadę opracowanej metody oczyszczania wody z substancji promieniotwórczych i zastosowanie jej w nowych filtrach wojskowych. W referacie przedstawiono również możliwości wdrożenia technik membranowych do budowy wojskowych filtrów uzdatniania wody z wyszczególnieniem ich wad i zalet oraz zasygnalizowano rozpoczęcie prac o tej tematyce w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej.

DEVELOPMENT OF WATER TREATMENT EQUIPMENT AND TECHNOLOGY, AS BASED ON THE SCIENCE AND ENGINEERING ACCOMPLISHMENTS OF THE MILITARY INSTITUTE OF ENGINEER TECHNOLOGY

Abstract: The paper presents projects accomplished by Military Institute of Engineer Technology (WITI) in the area of surface water treatment and technological solutions applied in military water treatment equipment and military water treatment stations. The division of the equipment into those of low-, medium- and high output is given, as is the course of their subsequent upgrades. In the chapter entitled “Development and implementation of the method of removing radionuclides out of water in military water treatment stations” what can be found is a concise description of the possible radioactive contamination sources in water and the applicability of conventionally used field water treatment processes in case of radionuclide removal. The drawbacks of the contemporary technologies are included as well. Described in detail is the newly-developed method of removing radioactive contaminations from water and the application of this method in new military water purifiers is given. The paper also addresses the issue of introducing membrane technologies into the structure of military water treatment equipment and water treatment stations, presenting the advantages and drawbacks of this solution. Additionally, initiation of work on the subject in WITI is indicated.

1. Wstęp

Zaopatrywanie wojsk w wodę jest jednym z zasadniczych przedsięwzięć logistycznych. Woda jest bowiem istotnym składnikiem organizmu człowieka. Stanowi średnio 60% masy ciała ludzkiego. Człowiek traci dziennie 2 – 3 l wody i potrzebuje jej systematycznego uzupełniania, ponieważ utrata 4 – 5% masy wody powoduje spadek zdolności wysiłkowych o 20 – 30 %. Bez wody można wytrzymać 3 – 5 dni. Dostarczanie wojskom wody w warunkach polowych wymaga ciągłego rozwiązywania problemów związanych z jej wydobywaniem, oczyszczaniem i dystrybucją. Najbardziej dostępne źródła wody, to zbiorniki otwarte (stawy, jeziora, rzeki). Wody powierzchniowe są jednak narażone na zanieczyszczenia naturalne i celowe, co powoduje konieczność stosowania skutecznych technologii usuwania tych zanieczyszczeń. Rozwój takich technologii ma już swoją historię, która w znacznej mierze została zapisana w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynieryjnej. Z biegiem lat zmieniały się nie tylko metody uzdatniania wody, ale również i wymagania dotyczące jej jakości po oczyszczeniu. Doskonalono więc technologie i sprzęt do uzdatniania i przechowywania wody, metody i sprzęt do szybkiej analizy w warunkach polowych, ciągle podążając za wymaganiami kolejnych aktów prawnych.

Doskonaląc technologie i sprzęt do uzdatniania wody zmieniano materiały konstrukcyjne, eksploatacyjne, źródła zasilania, zwiększano wydajność filtrów, ich trwałość, poszerzano ich uniwersalność i ergonomię.

Problemy te są w dalszym ciągu otwarte. Trwają prace nad ulepszaniem technik, technologii oczyszczania wód powierzchniowych i podążaniem za światowymi tendencjami w tej dziedzinie.

2. Rozwój technologii i technik oczyszczania wody na przykładach urządzeń wdrażanych w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynieryjnej

Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej we Wrocławiu niemal od początku zajmował się problemami pozyskiwania i oczyszczania wody do picia. Badano technologie uzdatniania wody pod kątem ich zastosowania w różnych warunkach i dla wód o różnym składzie zanieczyszczeń.

W efekcie wieloletnich badań opracowano następujące typoserię filtrów do uzdatniania wody:

- filtry indywidualne w postaci kieszonkowych pakietów dla pojedynczego żołnierza;
- zestawy przenośne plecakowe lub przewoźne dla małych pododdziałów (drużyny, załogi pojazdów) o wydajności 30-50 l/h;
- zestawy przenośne dla kompanii, punktów medycznych, punktów oporu, stanowisk dowodzenia – wydajność 200-500 l/h;
- stacje przewoźne (przyczepy lub samochody) o wydajności od 1 do 15 m³/h, przeznaczone dla oddziałów od batalionu wzwyż.

Technologia uzdatniania wody stosowana dotychczas w wojskowych urządzeniach do uzdatniania wody składa się z następujących procesów cząstkowych: utlenianie i chlorowanie, koagulacja, sedymentacja, filtracja i sorpcja na złożach węgla aktywnego, chemisorpcja na węglu aktywnym katalizowanym oraz wymiana jonowa.

Zwykle w zestawach o mniejszej wydajności wykorzystuje się technologię odstojnikową, w której procesy utleniania, koagulacji i sedymentacji zachodzą w zbiorniku uzdatniania wstępnego. W większych stacjach stosuje się technologię ciągłą (przepływową) z wykorzystaniem automatycznych dozowników utleniacza i koagulantu, gdzie procesy

wstępnego oczyszczania zachodzą w przewodach i zamkniętych komorach oraz częściowo w pierwszych kolumnach filtracyjnych.

Obecnie w SZ RP istnieją dwie generacje sprzętu do uzdatniania wody: starsza, zaprojektowana i wyprodukowana w latach 70, 80-tych (czasem po niewielkiej modernizacji lub remoncie generalnym), oraz nowsza, powstała w latach 90-tych ubiegłego i na początku obecnego wieku.

Pierwszym urządzeniem do uzdatniania wody o wydajności 30 l/h był filtr FPW-30. Kolumny filtracyjne wypełnione były karboferrozelem, który wymagał wymiany, co 15 godz. pracy, w związku, z czym zestaw zawierał dodatkowe dwa złoża.

Obecnie na wyposażeniu SZ RP znajduje się filtr zmodernizowany w 1993 roku FPW-30M (fot.1). Złoża karboferrozelu zastąpiono wypełnieniem węgla aktywnego DTO i opracowano metodę ich płukania, co pozwoliło na obniżenie masy zestawu o ponad połowę (z 13,5 kg do 6 kg). Własności sorpcyjne węgla DTO wpłynęły na poprawę jakości uzdatnianej wody.



Fot. 1 FPW-30M w czasie pracy



Fot. 2 Zespół pompowo – filtrujący FPW-50

W 2006 zakończono gruntowną modernizację filtra FPW-30M, której rezultatem był praktycznie nowy filtr o wydajności FPW-50 (fot.2) Jest to urządzenie o wydajności 50 l/h przeznaczone dla samodzielnych drużyn, przewożone i zasilane z akumulatora samochodu. Technologia uzdatniania wody, choć oparta na tych samych procesach fizycznych i chemicznych, co w FPW-30, została znacząco unowocześniona. Przetłaczanie wody odbywa się za pomocą pompy elektrycznej, gdy jest możliwość wykorzystania gniazda zapalniczki samochodowej (akumulatora) lub za pomocą pompki ręcznej. Dzięki zastosowaniu wstępnego filtra mechanicznego wyeliminowano konieczność płukania złożów węglowych. W celu zapewnienia bakteriostatyczności złożów węglowych, oraz wspomaganie usuwania chloru i innych zanieczyszczeń w kolumnach węglowych użyto KDF (Kinetic Degradation Fluxion) – granulatu miedziowo – cynkowego. W przypadku wystąpienia skażeń promieniotwórczych lub skażeń luizytem stosuje się dodatkowo wymianę jonową na kationicie i anionicie. W FPW-50 po raz pierwszy zastosowano anionit w celu odpowiedniej eliminacji arseninów. Końcową dezynfekcję wody zapewniają tabletki srebrne Micropur. Ważną zaletą tego filtra, obok automatyzacji (pompa elektryczna) i wygody obsługi, jest możliwość przewożenia uzdatnionej i zakonserwowanej wody w szczelnie zamkniętym zbiorniku gumowym.

W klasie o wyższej wydajności funkcjonują równolegle filtry dwóch generacji: FPW-300C i FPW-350. Filtry pracują w technologii odstojnikowej.



Fot. 3 Filtr FPW-300C w czasie pracy



Fot. 4 Filtr FPW-350 podczas pracy

FPW-300C (fot. 3) powstał w 1993 roku w wyniku modernizacji zestawu FPW-300 i może uzdatniać wodę przez 150 godzin z wydajnością 300 l/h. Praca tego filtra wymaga ręcznej obsługi pompy do napełniania zbiornika wstępnego oczyszczania oraz do przetłaczania wody przez kolumny filtracyjne.

Filtr FPW-350 (fot.4) uzdatnia wodę z wydajnością 350 l/h przez 150 godzin do wymiany złóż. Choć jego sumaryczna masa wzrosła w stosunku do poprzedniej wersji to zastosowanie zespołu prądotwórczego i pompy elektrycznej znacznie ułatwiło obsługę filtra.

Sprzęt przeznaczony do oczyszczania wód z zanieczyszczeń naturalnych i skażeń po broni masowego rażenia na szczeblu batalion – brygada reprezentuje stacja uzdatniania wody FPW-2000 (fot.5) oraz filtr FPW-2, którego badania kwalifikacyjne obecnie się kończą. Oba urządzenia mają wydajność 2 m³/h i są posadowione na przyczepach. Mogą być wykorzystane w obronie cywilnej lub w przypadku awaryjnego zaopatrzenia w wodę pitną ludności, szpitali, ośrodków wypoczynkowych, itp. Technologia zastosowana w obu filtrach jest przepływowa (ciągła).



Fot. 5 Stacja FPW-2000



Fot. 6 Stacja KSW-12

Filtr FPW-2 ma znacznie unowocześnioną technologię uzdatniania wód skażonych bronią masowego rażenia. Zastosowano dodatkowe kolumny wypełnione kationitem i anionitem, oraz wprowadzono ochronę złóż węglowych przed skażeniem radioaktywnym przez wstępne strącanie chemiczne. Dokładny opis tej modernizacji przedstawiono w rozdziale „Zmiany w technologii oczyszczania wody ze skażeń promieniotwórczych zastosowane w filtrze FPW-2”. Urządzenie ma nowoczesną konstrukcję, o wysokiej estetyce technicznej i wygodzie obsługi (fot.8)

Stacją o największej wydajności (10 - 12 m³/h) wdrożoną do SZ RP jest Kontenerowa Stacja oczyszczania Wody KSW-12. Służy ona do uzdatniania wód powierzchniowych i podziemnych z domieszek naturalnych i celowych do celów spożywczych dla pododdziałów SZ RP szczebla oddział, związek taktyczny i związek operacyjny; może być też wykorzystywana przez obronę cywilną w przypadku konieczności awaryjnego dostarczenia wody pitnej ludności. Jest to urządzenie działające w oparciu o technologię przepływową, lecz w celu wydłużenia czasu utleniania i koagulacji zastosowano specjalną komorę kontaktu wody z odczynnikami.

Dodatkowym elementem awaryjnego procesu uzdatniania wody do picia jest filtr indywidualny (fot. 7) przeznaczony jako wyposażenie pojedynczego żołnierza. Jest niewiele większy od długopisu, eliminuje jednak większość szkodliwych domieszek, co w przypadku niemożności dotarcia do sprawdzonej wody pitnej jest nieocenioną pomocą. Jako sorbent w filtrze indywidualnym zastosowano utleniony chemicznie węgiel aktywny DTO, na którego powierzchnię naniesiono srebro działające oligodynamicznie. Umieszczone w zakrętkę tabletki dezynfekcyjne wspomagają likwidację zagrożenia mikrobiologicznego.



Fot. 7 Filtr indywidualny. Widok ogólny i budowa

3. Opracowanie metody usuwania z wody radionuklidów i zastosowanie jej w wojskowych filtrach oczyszczania wody

1.1 Pochodzenie skażeń promieniotwórczych wody

Skażenia promieniotwórcze terenu i wody mogą powstać po wybuchach ładunków jądrowych jako opad promieniotwórczy lokalny i globalny lub powstały po awariach elektrowni jądrowych. Możliwe są również skażenia promieniotwórcze naturalne w wyniku rozszczelnienia niektórych składowisk odpadów niebezpiecznych. Część izotopów z opadu promieniotwórczego rozpuszcza się w wodzie, a część stanowią różnej wielkości cząstki nierozpuszczalne. Udział izotopów rozpuszczalnych w opadzie po wybuchach naziemnych i niskich powietrznych sięga 10%. Opad promieniotwórczy od wybuchów powietrznych wysokich i wybuchów odległych jest już opadem globalnym i zawiera do 50% cząstek rozpuszczalnych w wodzie.

2.2 Przydatność procesów oczyszczania wody stosowanych w warunkach polowych do usuwania z niej radionuklidów

W trakcie uzdatniania wody radionuklidy usuwa się głównie w procesach sorpcji, strącania chemicznego, koagulacji, wymiany jonowej, procesach membranowych.

Przydatność poszczególnych procesów stosowanych w technologii oczyszczania wody ocenia się następująco:

- utlenianie i chlorowanie nie spełniają pozytywnej roli przy uzdatnianiu wody skażonej radionuklidami,
- koagulacja jest procesem przydatnym w technologii oczyszczania wody z zanieczyszczeń nierozpuszczalnymi cząstkami pyłu promieniotwórczego umożliwiającymi tworzenie się kłaczków zatrzymywanych na filtrach,
- filtracja na granulowanym węglu aktywnym nie zatrzymuje cząstek radionuklidów,
- sorpcja i chemisorpcja częściowo usuwają radionuklidy,
- zmiękczenie chemiczne - wydajny proces pozwalający usuwać z wody radionuklidy,
- wymiana jonowa jest jednym z najskuteczniejszych procesów stosowanych do usuwania radionuklidów,
- odwrócona osmoza jest to proces radykalnie zmniejszający stężenie jonów i szczególnie predysponowany do oczyszczania wody skażonej radionuklidami.

3.3 Technologia stosowana dotychczas w wojskowych filtrach i stacjach uzdatniania wody

Wojskowe filtry i stacje uzdatniania wody służą do oczyszczania wód powierzchniowych z zanieczyszczeń naturalnych i sztucznych. Stosowane metody zostały już wielokrotnie sprawdzone w zakresie oczyszczania wody z zanieczyszczeń biologicznych i chemicznych. Zastrzeżenia budżet ciągle problem oczyszczania wody z radionuklidów promieniotwórczych.

W starszych typach filtrów woda przechodzi przez kolumny węglowe do jonitowych, które po wyczerpaniu ich pojemności można regenerować i ponownie włączać do procesu oczyszczania, natomiast „przebiecie” kolumn węglowych wymaga całkowitej wymiany ich złoża. Potwierdzono to w badaniach modelowych z użyciem promieniotwórczego cezu, strontu, baru i jodu. Okazało się, że czas ochronnego działania całej stacji jest zbyt krótki, bowiem wyniósł: wobec baru i strontu 4,5 godz., a wobec cezu i jodu 0,5 godziny, po czym cały model wymagał dekontaminacji.

3.4 Zmiany w technologii oczyszczania wody ze skażeń promieniotwórczych zastosowane w filtrze FPW-2

Założono, że skutecznym rozwiązaniem problemu będzie usunięcie z surowej wody wszystkich substancji promieniotwórczych przed podaniem jej na kolumny węglowe. W takim przypadku zasadnicza część stacji pozostanie czysta od radionuklidów. Do usuwania skażeń promieniotwórczych wody zastosowano cechujące się najwyższą skutecznością procesy zmiękczenia chemicznego, filtracji i wymiany jonowej. Do strącania chemicznego zastosowano fosforan trisodu, który jest skutecznym, stosowanym w technice uzdatniania wody środkiem obniżającym twardość wody. Dozowany do wody nawet w niewielkim stężeniu, w czasie kilku minut wytwarza zawiesinę fosforanów, która wraz z masą organiczną i nieorganiczną zawieszoną w wodzie surowej aglomeruje w większe cząstki w czasie przepływu przez komorę koagulacyjną. Zaglomerowane cząstki zawierające izotopy promieniotwórcze (głównie 2 - 4 grupy układu okresowego) są filtrowane, a substancje rozpuszczone w wodzie kierowane są na kolumny jonowymiennie. Przeprowadzono badania modelowe, która wykazały, że fosforan trisodu dozowany w stężeniu 75 mg/l do wody o pH = 7,5 obniża jej twardość o ponad 70 mgCaCO₃/l. Stosując go w takim stężeniu osiągnięto 16 godzinny czas pracy stacji do momentu przebiccia kolumny kationitowej. Zdobyte doświadczenia w badaniach modelowych pozwoliły na zastosowanie ich w praktyce przy

opracowaniu i budowie mobilnej stacji do uzdatniania wody skażonej substancjami promieniotwórczymi. Opracowano i zbudowano filtr FPW-2 o wydajności 2000 l na godzinę (fot. 8).



Fot. 8. Filtr uzdatniania wody FPW-2

4. Możliwości wdrożenia technik membranowych do budowy wojskowych filtrów uzdatniania wody

W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój technologii oczyszczania wody z zanieczyszczeń naturalnych i celowych z wykorzystaniem membran. Stosowane technologie membranowe cechują się następującymi możliwościami w zakresie uzdatniania wód:

- mikrofiltracja prowadzona jest na membranach o oczkach 0,2 μm , które zatrzymują zawarte w wodach powierzchniowych zawiesiny nieorganiczne i organiczne, w tym glony i niektóre drobnoustroje i może być stosowana, jako metoda klarowania wody;
- ultrafiltracja realizowana jest na membranach o porach 0,1 μm , zatrzymujących zawieszony w wodzie cząstki koloidalne, w tym wirusy, co wystarcza do dezynfekcji wody, – może być zatem stosowana do klarowania i dezynfekcji wody;
- nanofiltracja zapewnia odseparowanie cząsteczek o średnicy większej od 0,001 μm , zatrzymuje koloidy, szereg związków organicznych małocząsteczkowych oraz jony dwuwartościowe – może być więc stosowana do zmiękczenia wody i usuwania mikrozanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych;
- odwrócona osmoza wychwytyje cząsteczki o średnicy poniżej 0,001 μm , zatrzymuje również jony jednowartościowe, co umożliwia nawet odsalanie wód.

Ograniczeniem w zakresie stosowania technik membranowych jest przede wszystkim temperatura. Wydajność filtracji na błonach spada bowiem drastycznie przy obniżeniu temperatury. Membrany nie powinny być narażone na zamarzanie, gdyż grozi to ich trwałym uszkodzeniem. Innym ograniczeniem jest występujący proces blokowania membran w trakcie eksploatacji. Zapobieganie blokowaniu membrany sprowadza się przede wszystkim do okresowego oczyszczania membrany. Czas życia membrany, w warunkach przemysłowych, ocenia się na 3–5 lat, po czym należy ją wymienić.

Skuteczność technik membranowych pozwala jednak sądzić, że będą one uzupełniały lub wręcz zastępowały stosowane dotąd techniki uzdatniania wody.

W WITI prowadzone są prace nad opracowaniem filtra uzdatniania wody opartego w głównej mierze na technikach membranowych z wykorzystaniem zasilania baterią fotowoltaiczną w celu zastosowania go do oczyszczania wody pochodzących ze zbiorników otwartych.

Literatura

- [1] A.L. Kowal, M. Świdorska-Bróż „Oczyszczanie wody”, WN PWN 1998,
- [2] NO-04-A002 Zaopatrywanie wojsk w wodę. Wymagania jakościowe,
- [3] NO-04-A003 – „Awaryjne zaopatrywanie wojsk w wodę” STANAG 2885 ENGR,
- [4] Filtr indywidualny do oczyszczania wody. Opis i użytkowanie. WITI, Wrocław 2000r.
- [5] FPW-50, Opis i użytkowanie, WITI, Wrocław 2005r.
- [6] Filtr FPW-2000, Instrukcja obsługi, Ekomech-demet, Debrzno 1999r.
- [7] Kontenerowa stacja uzdatniania wody KSUW- 6/8, Instrukcja obsługi, WITI, Wrocław 2001r.
- [8] Kontenerowa stacja oczyszczania wody KSW-12, Opis i użytkowanie, WITI, Wrocław 2005r.
- [9] Analiza możliwości automatyzacji polowych procesów technologicznych uzdatniania wody, Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, WITI, Wrocław 2004r.
- [10] M. GOLIŃSKI. Unieszkodliwianie ścieków promieniotwórczych. Nowa technika w inżynierii sanitarnej. *Wodociągi i kanalizacja 7*. Arkady. Warszawa 1977.
- [11] PAWŁOWSKI L., HEFTY J. Dobór i kontrola jonitów w przemysłowych procesach oczyszczania wody i ścieków. Nowa technika w inżynierii sanitarnej. *Wodociągi i kanalizacja 15*. Arkady. Warszawa 1982.
- [12] J.Zienkiewicz, Ultrafiltracja jako alternatywa dla tradycyjnych metod filtracji, Mat. Konferencyjne Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, Poznań, 2004 r.
- [13] M. Bodzek Techniki membranowe w uzdatnianiu wód naturalnych, Mat. Konferencyjne Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, Kraków–Poznań, 2000 r.
- [14] M. Bodziek, O. Kominek, J. Zieliński „Zastosowanie odwróconej osmozy i ultrafiltracji w technologii wody i ścieków”, Arkady 1981
- [15] Robert Rautenbach „Procesy membranowe”, WNT Warszawa 1996
- [16] Ocena skuteczności oczyszczania wody z radionuklidów przez stację uzdatniania wody klasy K-4, WITI, Wrocław, 2004r;
- [17] L.Bogdan Otrzymywanie modyfikowanych srebrem węgla aktywnych i badanie ich właściwości fizykochemicznych pod kątem zastosowania w technologii uzdatniania wody. Rozprawa doktorska , WAT,Warszawa1998