

TECHNIKI FILTRACJI WODY

Grzegorz Benecki:

WODA WYSOKIEJ CZYSTOŚCI

Woda jest podstawowym reagentem w laboratorium, który do niedawna był przyjmowany jako coś zupełnie oczywistego. A tak jak piękno, czystość wody zależy od obserwatora: jeśli konsument domowy traktuje wodę z kranu jako „czystą”, to naukowiec uważa ją za silnie zanieczyszczoną. Współczesne wymogi przemysłu, szczególnie w produkcji półprzewodników, stworzyły potrzebę uzyskiwania wody o bardzo wysokim stopniu czystości. Nowe ultra-czułe techniki analityczne rozwinięte do monitorowania tych procesów przemysłowych, same wymagają wody ultra-czystej. Powszechne jest wśród naukowców zajmowanie się pierwiastkami i związkami chemicznymi w zakresach stężeń części na miliard (ppb). Badania biotechnologiczne są często bardzo czułe na zanieczyszczenia wszelkiego typu, szczególnie na metale przejściowe oraz rozpuszczone związki organiczne. Wysokosprawną chromatografią cieczową (HPLC) wymaga ultraczystej wody w wielu swoich zastosowaniach, głównie jako eluent. Naturalnie, np. badania śladowych zanieczyszczeń wymagają wody, która jest wolna od składników, które będą oznaczane.

Zanieczyszczenia wody

Unikalne zdolności wody do rozpuszczania, do pewnego stopnia, prawie każdego związku chemicznego oraz do podtrzymywania praktycznie każdej formy życia, oznaczają jednocześnie, że źródła zasilania wodą zawierają ogromną gamę zanieczyszczeń. Główne kategorie zanieczyszczeń znajdujących w wodzie surowej są następujące:

- Zawiesiny cząstek stałych, w tym koloidy
- Rozpuszczone sole nieorganiczne
- Rozpuszczone związki organiczne
- Mikroorganizmy
- Pyrogeny
- Rozpuszczone gazy

Zawiesiny stałe

Zawiesiny w wodzie składają się z zanieczyszczeń mulistych, brudu z rurociągów oraz koloidów. Cząsteczki koloidalne, które mogą być pochodzenia organicznego lub nieorganicznego – nie są ani zawiesiną, ani roztworem - powodują wzrost mętności wody. Stopień zanieczyszczenia koloidalnego może być określony za pomocą badania indeksu blokowania (FI – fouling index), w którym mierzona jest szybkość blokowania się standardowego filtra, lub za pomocą turbidymetrii. W metodzie turbidymetrycznej – która określa całkowitą zawartość stałych zawiesin w wodzie – promień światła jest przepuszczany przez wodę i mierzona jest część światła rozproszona na cząsteczkach zawiesin.

Cząsteczki zawiesin mogą zablokować membrany odwróconej osmozy oraz kolumny analityczne o małych średnicach, jak również wpływać na pracę zaworów oraz czujników. Z tego względu 10-cio lub 20-to mikronowy filtr wstępny jest często używany jako pierwszy składnik systemu oczyszczania wody w celu odfiltrowania większych cząstek. Mniejsze cząstki mogą być następnie usunięte przez odwróconą osmozę, filtrację sub-mikronową lub ultrafiltrację.

Rozpuszczone związki nieorganiczne

Substancje nieorganiczne w roztworze zawierają sole powodujące twardość, pochodzące z warstw skalnych: wodorowęglany wapnia i magnezu dają wzrost „twardości przemijającej”, podczas gdy siarczany i chlorki powodują „twardość nieprzemijającą”.

Pośród innych zanieczyszczeń nieorganicznych obecnych w wodzie znajdują się: dwutlenek węgla, który rozpuszcza się w wodzie dając słaby kwas węglowy, sole sodowe, krzemiany wylugowane z piaszczystych koryt rzek, związki żelazowe i żelazawe pochodzące z minerałów i zardzewiałych rur stalowych, chlorki z wtrąceń solnych, aluminium z dozowania chemikaliów i z minerałów, fosforany z detergentów, oraz azotany z nawozów.

Całkowita zawartość stałych związków rozpuszczonych (TDS – total dissolved solids) jest pozostałością w mg/l (lub ppm) otrzymaną przez tradycyjną metodę odparowania próbki wody do suchości i ogrzewania w 180 °C. Pozostałość ta zawiera koloidy, nielotne związki organiczne oraz sole stabilne w tej temperaturze.

Ponieważ największą częścią w suchej pozostałości są sole nieorganiczne, TDS jest używany jako wskaźnik całkowitej zawartości związków nieorganicznych obecnych w wodzie zasilającej. Może on być mierzony bezpośrednio lub

szacowany w sposób przybliżony przez pomnożenie przewodnictwa wody w $\mu\text{S/cm}$ w 25°C przez współczynnik 0,7.

Przewodnictwo

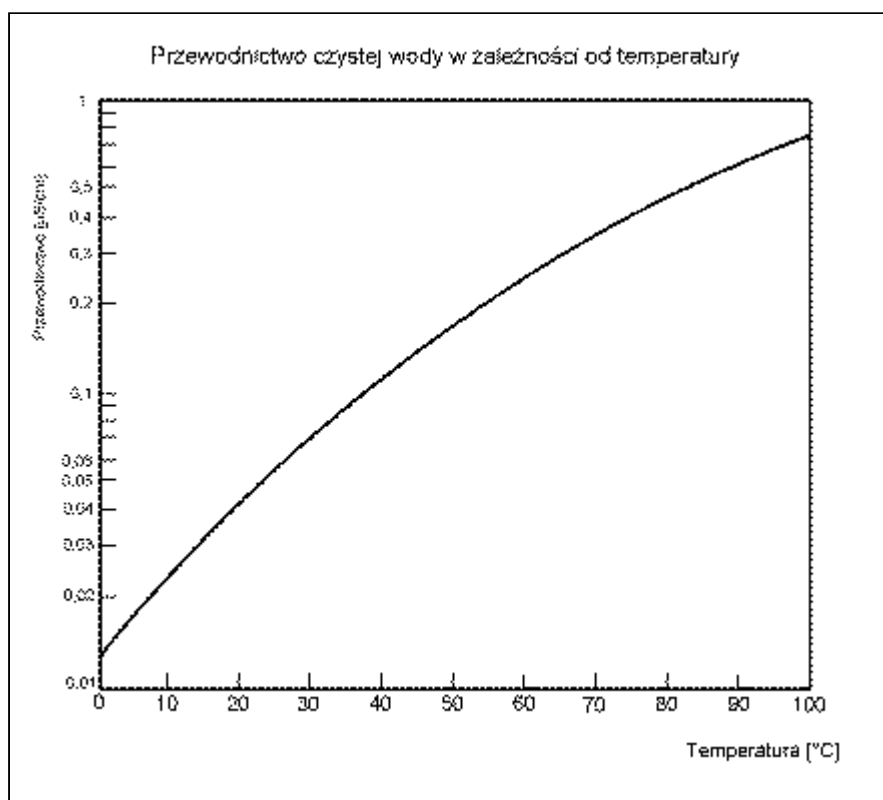
Sole nieorganiczne w wodzie składają się z dodatnio naładowanych kationów oraz ujemnie naładowanych anionów - które będą przewodzić prąd elektryczny po przyłożeniu napięcia pomiędzy dwoma elektrodami zanurzonymi w wodzie. Im więcej jest obecnych jonów, tym większy prąd - większe przewodnictwo (i niższa rezystywność).

Przewodnictwo jest wyrażane w mikrosiemensach na centymetr ($\mu\text{S/cm}$) i jest stosowane do mierzenia jakości wody surowej i wody oczyszczonej typu podstawowego. Rezystywność jest odwrotnością przewodnictwa i jest wyrażana w megaomach·cm (MW·cm). Jest wygodniejsza do pomiaru jakości wody wysoko-oczyszczonej.

Rezystywność (MW·cm)	0,1	1,0	10,0	18,2
Przewodnictwo ($\mu\text{S/cm}$)	10,0	1,0	0,1	0,055

Wartości przewodnictwa mniejsze niż $2 \mu\text{S/cm}$ muszą być mierzone „w linii” ponieważ wysoko-czysta woda szybko absorbuje zanieczyszczenia z otoczenia, szczególnie dwutlenek węgla, co wiąże się ze wzrostem przewodnictwa.

Przewodnictwo i rezystywność są zależne od temperatury. W 25°C całkowicie czysta woda ma rezystywność 18,2 MW·cm (przewodnictwo $0,055 \mu\text{S/cm}$), z powodu obecności jonów wodorowych i wodorotlenowych.



Wzrost temperatury wody wywołuje wyższe przewodnictwo i niższą rezystywność. Nie powinno być to jednak traktowane jako pogarszanie się jakości wody uzdatnionej. Jeśli temperatura wzrośnie o 1°C , przewodnictwo wody wodociągowej wzrośnie o około 2%, ale dla wody ultra-czystej wzrost ten wyniesie około 6%. Normalnie w praktyce stosuje się korektę wszystkich wartości przewodnictwa i rezystywności do 25°C . Jest to wykonywane automatycznie przez współczesne mierniki przewodnictwa – jako istotne dla dokładności pomiaru.

Zanieczyszczenia śladowe

Choć rezystywność służy jako doskonały wskaźnik jakości jonowej wody o wysokiej czystości, nie jest ona wystarczająca w pewnych krytycznych zastosowaniach. W przypadkach, gdy poziom poszczególnych zanieczyszczeń musi być mierzony w częściach na miliard lub niżej, stosuje się takie

techniki analityczne jak chromatografia jonowa, spektrofotometria absorpcji atomowej w piecu grafitowym i plazmową spektrometrię masową ze sprzężeniem indukcyjnym.

pH

Pomiar pH wody ultra-czystej jest trudny. Nie tylko dlatego, że woda wysoko-czysta szybko "łapie" zanieczyszczenia, które wpływają na jej pH, ale także posiada niską konduktancję, która powoduje niestabilność pomiaru w większości pH-metrów, chyba że są one specjalnie zaprojektowane do pracy w wodzie ultra-czystej.

Na szczęście, ponieważ stężenie jonów wodorowych w wodzie wpływa na pH i na rezystywność, pH musi leżeć w określonych granicach dla danego odczytu przewodnictwa. Na przykład, gdy rezystywność wynosi 10 MW·cm, wartość pH musi leżeć pomiędzy 6,6 i 7,6.

pH ultra-czystej wody może spaść do 4,5 jako że absorbuje ona dwutlenek węgla z atmosfery, ale nie oznacza to, że woda jest silnie zanieczyszczona; już kilka ppm CO_2 spowoduje spadek pH.

Rozpuszczone związki organiczne

Organiczne zanieczyszczenia wody pochodzą z rozkładu materii roślinnej – zasadniczo są to kwasy huminowe i fulwowe – oraz z rolnictwa, papiernictwa oraz ścieków komunalnych i przemysłowych. Zawierają one detergenty, tłuszcze, oleje, rozpuszczalniki oraz pozostałości pestycydów i herbicydów.

Dodatkowo, zawarte w wodzie związki organiczne mogą zawierać związki wylugowane z rurociągów, zbiorników oraz środków czyszczących.

System oczyszczania wody może być także źródłem zanieczyszczeń i wobec tego musi być zaprojektowany nie tylko tak, żeby usuwać zanieczyszczenia z wody zasilającej, ale żeby uniknąć dodatkowego ponownego zanieczyszczenia pochodzącego z samego systemu.

Związki organiczne zawarte w wodzie surowej często dają żółto-brązowe zabarwienie i mogą zablokować żywice jonowymienne, jak również zanieczyścić wodę wyprodukowaną. Stopień zanieczyszczenia organicznego może być mierzony za pomocą testu absorpcji tlenu (OA – oxygen absorbed) wykorzystującego roztwór nadmanganianu potasu, lub testu chemicznego zapotrzebowania tlenu (COD).

Obecnie coraz szerzej są stosowane analizatory całkowitego węgla organicznego (TOC - total organic carbon), z powodu ich czułości w wykrywaniu niskich poziomów związków organicznych w próbkach wody. (Mówiąc ściśle, instrumenty te mierzą całkowity utleniający węgiel organiczny (TOOC) obecny w próbkach).

Woda o bardzo niskiej zawartości TOC (poniżej 10 ppb) jest szczególnie ważna dla użytkowników takich technik jak HPLC, analiza fluorescencyjna oraz kultury tkankowe. Równie ważna, w przypadku gdy używane są systemy detekcji ultrafioletowej, jest konieczność, żeby woda miała bardzo niski poziom absorpcji światła UV (idealnie mniej niż 0,0001 jednostek absorpcji przy 254 nm).

Mikro-organizmy

Wody powierzchniowe zawierają szeroką różnorodność mikro-organizmów, w tym ameby, bakterie, pierwotniaki, wrotki, okrzemki i algi. Ponieważ jednak większość wody w laboratorium pochodzi z miejskiej stacji uzdatniania wody, i jest silnie uzdatniona dla usunięcia mikroorganizmów, podstawowymi mikroorganizmami istotnymi dla systemu oczyszczania wody są bakterie. Typowy poziom bakterii w pitnej wodzie zasilającej laboratorium wynosi jedną kolonię na mililitr lub mniej. Rozwój bakterii jest utrzymywany na tak niskim poziomie przy użyciu resztkowego poziomu chloru lub innego środka dezynfekującego. Gdy te środki dezynfekujące zostają usunięte podczas procesu oczyszczania wody – bakterie mają szansę rozwoju.

Zadania systemu wody ultra-czystej (w zakresie mikrobiologii) są następujące:

- Usunąć bakterie obecne w wodzie zasilającej.
- Uniemożliwić bakteriom przeniknięcie do systemu i ponownego jego zakażenia.
- Zahamować rozwój bakterii w systemie.
- Zapewnić, że w wodzie wyprodukowanej nie ma bakterii.

Bakterie są jednokomórkowymi organizmami, których liczba rośnie w sposób wykładniczy, dobrze rozwijając się w stojącej wodzie, i mogą być obecne na różnych powierzchniach i w powietrzu. Potrafią przetrwać i rozwijać się w różnorodnych środowiskach, w tym w rozpuszczonych związkach organicznych i nieorganicznych. Bakterie przetwarzające żelazo, siarkę oraz azot, są dobrymi przykładami organizmów wykorzystujących dostępne media. Bakterie łatwo rozwijają się w systemach wody ultra-czystej.

Bakterie przenikną do niezabezpieczonego systemu oczyszczania wody z wody zasilającej, przez wszelkie „dziury” w systemie, lub przez punkty poboru wody oczyszczonej. Już w systemie, niektóre bakterie potrafią wydzielić lepka polimeryczną substancję, która przykleja je do powierzchni zbiorników magazynowych, wkładów dejonizacyjnych, rurociągów i w „ukrytych” miejscach takich jak w zaworach kulowych.

Bakterie mogą być zwykle wykryte i policzone przez zefiltrowanie próbki wody przez filtr 0,45 mikrona, i hodowlę filtra z bakteriami na odpowiedniej pożywce przez kilka dni. Liczba bakterii jest określana w jednostkach tworzących kolonię na mililitr (CFU/ml). Bakterie mogą być zniszczone przez środki dezynfekujące takie jak nadtlenek wodoru, podchloryn i wodorosiarczyn. Gdy jednak bakterie zostaną zniszczone, ich polimeryczne wydzieliny oraz lipopolisacharydowe fragmenty komórek pozostają i mogą wywołać problemy, jeśli nie zostaną również usunięte.

Pyrogeny, nazwa nadana fragmentom błony komórkowej bakterii, oznacza „wywołujące gorączkę”. Gdy woda zawierająca pyrogeny zostanie wstrzyknięta ssakom, wystąpi wzrost temperatury ich ciała. Dlatego woda typu farmaceutycznego musi być apyrogenna. Stwierdzono także, że pyrogeny mają niekorzystny wpływ na eksperymenty z kulturami tkankowymi.

Pyrogeny są wykrywane albo przez wstrzykiwanie próbki wody specjalnie hodowanym królikom i monitorowanie ich na wzrost temperatury, albo przez test LAL (Limulus Amoebocyte Lysate), czuły test na wykrywanie bardzo niskich poziomów endotoksyn.

Rozpuszczone gazy

Tlen i dwutlenek węgla są dwoma gazami najczęściej znajdowanymi w wodach naturalnych. Dwutlenek węgla zachowuje się jak słaby anion i jest usuwany przez silnie zasadowe żywice jonowymienne.

Rozpuszczony tlen może być także usunięty przez żywice jonowymienne w formie siarczanowej, a poziom rozpuszczonego tlenu w wodzie zasilającej może być monitorowany przy pomocy elektrod selektywnych na tlen.

Zmiany jakości wody surowej

Odmienne od innych surowców, źródła wody surowej mają zmienną jakość zależnie od regionu geograficznego i zależą od pory roku. Woda uzyskiwana z naturalnych źródeł powierzchniowych, na przykład, zwykle ma niskie TDS i jest względnie miękka, ale ma wysokie stężenie zanieczyszczeń organicznych, w dużej części koloidalnych. Przeciwnie, woda ze źródeł podziemnych ma generalnie wysokie TDS i poziom twardości, ale niską zawartość związków organicznych.

Sezonowe wahania jakości wody są najbardziej widoczne w wodach powierzchniowych. Podczas miesięcy jesienno-zimowych, opadłe liście i gnijąca roślinność uwalniają duże ilości materii organicznej do strumieni, jezior i innych zbiorników. W rezultacie, stopień zanieczyszczenia organicznego w wodach powierzchniowych – jak wskazują wartości OA – osiąga szczyt w styczniu i lutym, i spada do minimum w lipcu i sierpniu.

Jakość i charakterystyka zasilania wodą surową ma ważny wpływ na wymaganą technologię oczyszczania wody.

Woda oczyszczona – klasyfikacja

Wodę używaną we współczesnym laboratorium można podzielić na cztery typy:

- Woda typu podstawowego
- Woda dejonizowana
- Woda laboratoryjna typu ogólnego
- Woda ultra-czysta

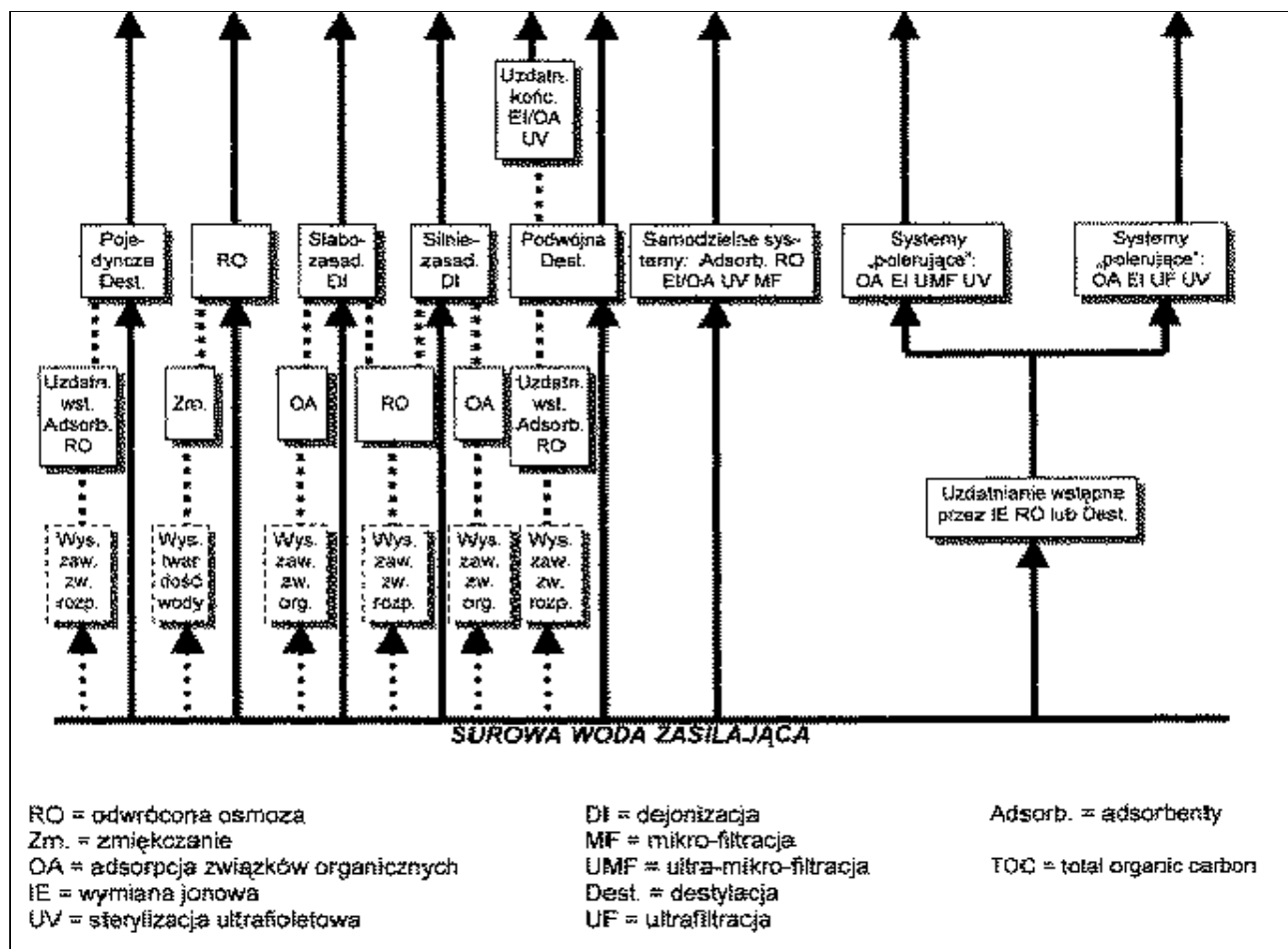
Woda typu podstawowego ma najniższy stopień czystości - normalnie ma przewodnictwo 1-50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Może być wyprodukowana samodzielnie przez słabo-zasadowe żywice aniono-wymienne, lub przez odwróconą osmozę. Typowe zastosowania dla wody typu podstawowego obejmują płukanie szkła, zasilanie maszyn myjących oraz przygotowanie roztworów reagentów do celów ogólnych.

Woda dejonizowana typowo ma przewodnictwo od 1,0 do 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (t.j. rezystywność od 1,0 do 10,0 $\text{MW}\cdot\text{cm}$), i jest produkowana przez dejonizację na złożu mieszanym przy zastosowaniu silnie-zasadowych żywic aniono-wymienne. Jest używana do różnych celów, w tym do przygotowania standardów analitycznych i reagentów, rozcieńczania próbek, zasilania analizatorów klinicznych oraz przygotowania roztworów farmaceutycznych.

Woda laboratoryjna typu ogólnego nie tylko ma wysoką czystość w zakresie jonów, ale też niskie poziomy zawartości związków organicznych i mikroorganizmów. Typowa specyfikacja takiej wody to przewodnictwo $<1,0 \mu\text{S}/\text{cm}$ (rezystywność $>1,0 \text{MW}\cdot\text{cm}$), zawartość całkowitego węgla organicznego mniejsza niż 50 ppb oraz liczba bakterii poniżej 1 kolonii/ml. Woda tej jakości może być użyta do różnorodnych zastosowań, zawierających się od przygotowania reagentów i roztworów buforowych, do przygotowania podłoży do hodowli komórek i badań mikrobiologicznych. Woda typu laboratoryjnego może być wyprodukowana przez podwójną destylację lub przez systemy oczyszczania wody wykorzystujące kilka różnych technik.

Woda osiągająca teoretyczne poziomy czystości w zakresie przewodnictwa, zawartości związków organicznych, liczby cząstek stałych i bakterii, może być otrzymana przez „polerowanie” wody, która została wstępnie oczyszczona przez dejonizację, odwróconą osmozę lub destylację. Woda ultra-czysta jest wymagana do niektórych czułych technik analitycznych takich jak wysokosprawna chromatografia cieczowa, chromatografia jonowa oraz atomowa spektrofotometria adsorpcyjna. Ultra-czysta woda apyrogena jest używana do zastosowań takich jak kultury tkankowe oraz zapłodnienie *in vitro*.

Jakość wody	Typ podstawowy	Dejonizowana	Ogólna laboratoryjna	Ultra-czysta (analityczna)	Ultra-czysta (biologiczna)
Przewodnictwo	1 - 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 - 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Rezystywność	1 - 0,2 $\text{MW}\cdot\text{cm}$	1 - 10 $\text{MW}\cdot\text{cm}$	$> 1 \text{MW}\cdot\text{cm}$	18,2 $\text{MW}\cdot\text{cm}$	18,2 $\text{MW}\cdot\text{cm}$
TOC			$< 50 \text{ppb}$	$< 10 \text{ppb}$	$< 10 \text{ppb}$
Bakterie			$< 1 \text{kol./ml}$	$< 1 \text{kol./ml}$	$< 1 \text{kol./ml}$
Pyrogeny					$< 0,25 \text{jedn.równ./ml}$
Cząstki stałe				$< 0,05 \mu\text{m}$	$< 0,05 \mu\text{m}$



Woda oczyszczona – metody otrzymywania

Powszechnie stosowany jest siedem metod oczyszczania wody. Są to:

- Destylacja
- Dejonizacja
- Odwrócona osmoza
- Adsorpcja na węglu aktywnym
- Filtracja na mikroporowatych membranach
- Ultrafiltracja
- Foto-utlenianie

Destylacja

Destylacja to od dawna znana i stosowana metoda oczyszczania wody, w której woda jest ogrzewana do odparowania, a następnie para wodna jest kondensowana i zbierana. Sprzęt do destylacji jest względnie niekosztowny, ale zużywa bardzo dużo energii – typowo 1 kW energii elektrycznej na 1 litr wody wyprodukowanej. Koszt ten może być nie całkiem oczywisty – jeśli rachunki za energię elektryczną pojawiają się w budżecie kogoś innego!

Zależnie od wykonania destylatora, woda destylowana może mieć rezystywność około 1 MW-cm, będzie także sterylna bezpośrednio po uzyskaniu, pod warunkiem użycia odpowiedniego wyposażenia do sterowności przystosowanego, ale nie pozostanie taka długo bez bardzo starannie przygotowanego przechowywania. Dodatkowo, lotne zanieczyszczenia takie jak dwutlenek węgla, krzemionka, amoniak oraz różnorodne związki organiczne zostaną „przeniesione” do destylatu.

Destylacja produkuje wodę oczyszczoną powoli. Nie jest to proces „na żądanie”. Z tego powodu, woda musi być wcześniej predestylowana i przechowana do późniejszego użycia. Jeśli pojemnik do przechowywania nie jest wykonany z

obojętnego materiału, jony oraz plastyfikatory z tworzywa zostaną wypłukane z pojemnika i zanieczyszczą wodę, oraz, jak to zostało zaznaczone wcześniej, bakterie dobrze się rozwijają w stojącej wodzie. Dla utrzymania sterylności, stosuje się sterylne butle magazynujące, a zbierana woda jest autoklawowana, ale gdy taka butla zostanie już otwarta, jest wystawiona na działanie bakterii i zanieczyszczenie rozpoczyna się ponownie.

W regionach z twardą wodą destylatory wymagają częstego czyszczenia z użyciem kwasu, z powodu narastania kamienia, chyba że woda jest wcześniej wstępnie uzdatniona przez zmiękczenie lub odwróconą osmozę.

Dejonizacja

Dejonizacja jest szeroko stosowana do uzyskiwania wody oczyszczonej w laboratoriach „na żądanie”. Laboratoryjne dejonizatory w praktyce zawsze wykorzystują wkłady z żywicą jonowymienną mieszaną, które albo są zwracane do stacji regeneracji do ponownego „naładowania” po ich wyczerpaniu, lub po prostu wyrzucane.

Dejonizacja działa poprzez wymianę jonów wodorowych na zanieczyszczenia kationowe, oraz jonów hydroksylowych na zanieczyszczenia anionowe wody zasilającej. Złoża żywicy jonowymiennnej składają się z małych sferycznych ziarenek, przez które przechodzi woda zasilająca. Po pewnym okresie czasu, kationy i aniony zastąpią wszystkie aktywne miejsca wodorowe i hydroksylowe w żywicy, i wkład będzie wymagał wymiany lub regeneracji.

Dejonizacja posiada wiele zalet względem destylacji w produkcji wody oczyszczonej. Po pierwsze, jest procesem „na żądanie” – woda jest dostępna wtedy, gdy jest potrzebna. Po drugie, przy użyciu żywicy o wysokim stopniu czystości, praktycznie całość związków jonowych zostanie usunięta z wody, dając maksymalną rezystywność 18,2 MW-cm (w 25° C).

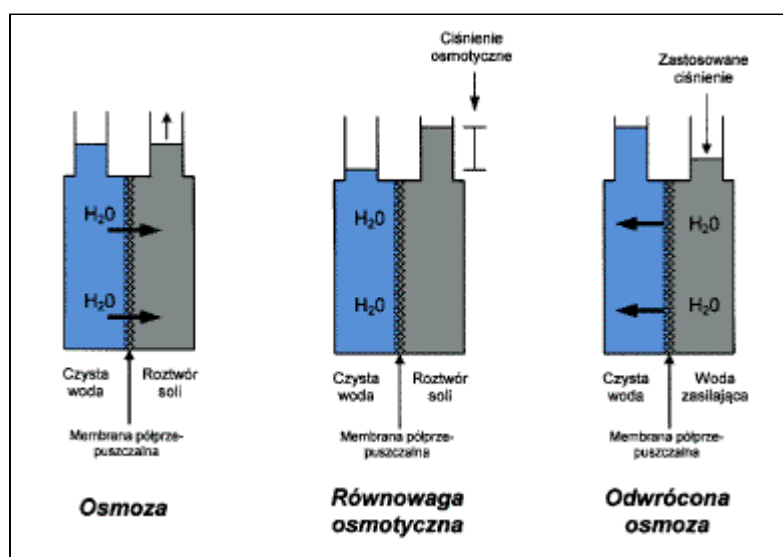
Drobne fragmenty materiału jonowymiennego mogą zostać wymyte z wkładu przez przepływającą wodę. Dlatego, gdy jest potrzebna woda wolna od zanieczyszczeń stałych, wymiana jonowa powinna być użyta w połączeniu z filtrami. Jako że bakterie rozwijają się szybko w stojącej wodzie, wkłady z żywicami mogą zostać zakażone, gdy nie są regularnie używane. Problem ten jest łagodzony przez częstą recyrkulację wody dla hamowania rozwoju bakterii lub przez regularną regenerację, ponieważ chemikalia regenerujące są jednocześnie silnymi środkami dezynfekującymi.

Dejonizacja usunie tylko polarne związki organiczne z wody, a pozostałe rozpuszczone związki organiczne mogą zdegradować ziarna żywicy jonowymiennnej, zmniejszając „pojemność” złoża. Gdy potrzebna jest woda czysta pod względem nieorganicznym i organicznym jednocześnie, kombinacja odwróconej osmozy z następującą po niej wymianą jonową jest szczególnie efektywna. Alternatywnie, zabezpieczający zmiatacz organiczny może być umieszczony przed wymianą jonową, gdy wartości zanieczyszczeń organicznych w wodzie są wysokie.

Istnieje wiele prób ominięcia ograniczeń dejonizacji i destylacji. W niektórych systemach destylacja poprzedza dejonizację – wkłady wytrzymują dużo dłużej, lecz problem bakterii pozostaje. W niektórych innych, dejonizacja poprzedza destylację – ale wtedy problem przechowywania i braku wody „na żądanie” pozostaje.

Odwrócona Osmoza

Odwrócona osmoza jest procesem, który omija wiele ograniczeń destylacji i dejonizacji. Dla wyjaśnienia odwróconej osmozy popatrzymy najpierw na osmozę. Jest to proces naturalny, występujący zawsze, gdy rozcieńczony roztwór jest oddzielony od roztworu stężonego przez membranę półprzepuszczalną. Woda, „napędzana” przez siłę wywołaną różnicą stężeń – ciśnieniem osmotycznym – przechodzi przez membranę z roztworu rozcieńczonego do roztworu stężonego. Przepływ wody trwa aż do takiego rozcieńczenia roztworu stężonego, że ciśnienie wsteczne zatrzyma dalszy przepływ przez membranę (równowaga osmotyczna).



Jeśli ciśnienie większe niż ciśnienie osmotyczne zostanie przyłożone po stronie membrany o większym stężeniu,

normalny przepływ osmotyczny zostanie odwrócony - woda przechodzi przez membranę z roztworu stężonego i jest w ten sposób pozbawiana zawartych w niej zanieczyszczeń. Jest to podstawowa zasada odwróconej osmozy (czasami nazywanej również hiperfiltracją).

W praktyce, woda jest pompowana do ciśnieniowego zbiornika zawierającego spiralę lub zespół wydrążonych włókien wykonanych z membrany pół-przepuszczalnej. Woda oczyszczona przechodzi przez membranę tworząc „przesącz”. Zanieczyszczenia pozostają w pozostałej wodzie – zwanej „koncentratem” – który jest odprowadzany w sposób ciągły do kanalizacji.

Obecne generacje kompozytowych cienkowarstwowych poliamidowych membran odwróconej osmozy usuwają 90-98% jonów nieorganicznych, wraz z praktycznie wszystkimi dużymi zanieczyszczeniami niejonowymi, oraz cząsteczki organiczne o ciężarze cząsteczkowym większym niż 100. Rozpuszczone gazy nie są usuwane.

Odwrócona osmoza ma zdolność zabezpieczania systemu przed bakteriami i pyrogenami. Jest często łączona z wymianą jonową w celu istotnego wydłużenia żywotności wkładów jonowymiennych, i otrzymania wody o niskiej zawartości zanieczyszczeń organicznych. Bezpośrednie pobieranie wody po odwróconej osmozie zapewnia źródło wody o niskiej zawartości bakterii.

Media adsorpcyjne

Węgiel aktywny, przygotowany ze skorup orzechów kokosowych lub z węgla, usuwa chlor mechanizmem katalitycznym oraz rozpuszczone związki organiczne przez adsorpcję i często znajduje się w systemie oczyszczania wody w dwóch miejscach. Ponieważ cienkowarstwowe membrany odwróconej osmozy są niszczone przez nadmierne oddziaływanie wolnego chloru, oraz, w mniejszym stopniu, degradowane przez rozpuszczone związki organiczne, granulowany węgiel aktywny jest często umieszczany przed membraną RO dla usunięcia tego typu zanieczyszczeń.

Filtry z granulowanym węglem aktywnym są także często umieszczane w pętli „polerującej” systemu oczyszczania wody dla usunięcia śladowych ilości rozpuszczonych związków organicznych, przed końcową wymianą jonową.

Mikrofiltracja

Mikroporowate membrany filtracyjne stanowią fizyczną barierę dla przejścia cząstek stałych oraz mikroorganizmów, i mają absolutne selektywności zatrzymywania zawierające się od 1,0 mikrona do 0,1 mikrona; niektóre systemy wykorzystują „ultra-mikrofiltry” o selektywności zatrzymywania 0,05 mikrona.

Większość rodzajów wody surowej zawiera koloidy, które mają niewielki ujemny ładunek elektryczny (mierzony potencjałem Zeta). Działanie filtracji może być poprawione przez użycie mikrofiltrów wykorzystujących zmodyfikowaną powierzchnię przegrody filtracyjnej, która przyciągnie i zatrzyma te naturalnie występujące koloidy, które są generalnie dużo mniejsze niż rozmiary porów w membranie filtra. Mikrofiltry o absolutnym wymiarze porów równym 0,2 mikrona są szeroko stosowane w systemach uzdatniania wody. Wyłapują one zanieczyszczenia, w tym cząstki węgla z wkładów adsorpcji związków organicznych, cząstki żywic z wkładów dejonizacyjnych, oraz bakterie.

Istotne jest, aby rozważyć, gdzie w systemie umieszcza się filtr sub-mikronowy. W wielu systemach, filtr sub-mikronowy jest dodawany do punktu poboru wody wg zasady, że ostatnim filtrem, przez który przechodzi woda przed jej użyciem, jest filtr sub-mikronowy. Podejście takie wydaje się mieć sens, jeśli nie pamięta się, że bakterie mnożą się w wodzie stojącej i na mokrych powierzchniach. W filtrze sub-mikronowym umieszczonym w „martwym” odgałęzieniu, poza pętlą recyrkulacji, bakterie mogą narastać poprzez membranę, uwalniając endotoksyny i bakterie po stronie za filtrem. Rozwiązaniem tego problemu jest umieszczenie filtra sub-mikronowego w pętli recyrkulacyjnej w celu ciągłego usuwania bakterii z wody oczyszczonej. Filtry sub-mikronowe powinny także być umieszczone w krytycznych punktach poboru dla absolutnego zabezpieczenia, oraz w celu zapobieżenia zanieczyszczenia systemu bakteriami dostającymi się tą drogą.

Membrany mikroporowate są generalnie traktowane jako niezastąpione w systemach oczyszczania wody, chyba że są zastąpione przez ultrafiltr.

Ultrafiltracja

Ultrafiltracja stosuje membranę bardzo podobną w zasadzie działania do odwróconej osmozy, poza tym że pory ultrafiltra są nieco większe: 0,001- 0,02 mikrona. Dla usunięcia pyrogenów pory ultrafiltra powinny mieć średnicę 0,002 mikrona lub mniej i powinny wykluczać przejście wszystkich cząsteczek o ciężarze cząsteczkowym 10 000 lub większych.

Ultrafiltry mogą być zastosowane w podobny sposób do membran mikroporowatych, ale są bardziej efektywne, jeśli część wody zasilającej jest użyta do ciągłego opłukiwania membrany dla zminimalizowania narastania zanieczyszczeń i rozwoju bakterii. Przy takim zaprojektowaniu, ultrafiltracja jest doskonałą technologią dla zapewnienia stałej wysokiej jakości wody ultra-czystej, w odniesieniu do cząstek stałych, bakterii oraz pyrogenów.

Foto-utlenianie

Foto-oksydacja stosuje wysoko-intensywne promieniowanie ultrafioletowe dla niszczenia bakterii i innych mikroorganizmów, oraz do rozbicia i zjonizowania cząsteczek wszelkich związków organicznych w celu ich następnego

usunięcia przez wkłady z żywicami jonowymiennymi.

Promieniowanie w 254 nm ma najsilniejsze działanie bakteriobójcze, podczas gdy promieniowanie o krótszej długości fali jest najbardziej efektywne w utlenianiu związków organicznych.

Woda oczyszczona - porady

- Przechowywanie wody oczyszczonej powinno być ograniczone do absolutnego minimum w celu uniknięcia pogorszenia się jej jakości.
- Czystość mikrobiologiczna wody w systemie oczyszczania wody może być utrzymana tylko poprzez stałe cykulowanie wody przez poszczególne etapy oczyszczania, łącznie ze zbiornikiem magazynowym.
- Aby powstrzymać rozrost alg, należy unikać używania przezroczystych zbiorników i rurociągów, oraz, jeśli to możliwe, unikać instalowania zbiorników magazynowych blisko bezpośredniego nasłonecznienia lub źródeł ciepła.
- Dejonizatory mogą pracować na bardzo niskim ciśnieniu, ponieważ odmiennie od odwróconej osmozy, jakość wody w tym przypadku nie zależy od ciśnienia. Zwykle, grawitacyjnie zasilane dejonizatory mogą pracować na zasilaniu 2 metry słupa wody.
- Należy zapewnić odpowiedni przepływ przez dejonizator, aby uniknąć "kanałowania" przez złożo żywicy, które będzie przyczyną słabej jakości oraz niskiej pojemności.
- Wiele systemów odwróconej osmozy pracujących na ciśnieniu sieci wodociągowej ma wydajność określoną dla ciśnienia 3 bar. Jeśli ciśnienie zasilające jest niższe, zmniejszenie przepływu oraz jakości będzie wyraźne.
- Należy regularnie wymieniać wkłady dejonizacyjne, najrzadziej co 6 miesięcy, dla zminimalizowania możliwości zakażenia bakteryjnego.
- Zawsze po okresie braku aktywności należy spuścić pierwsze 2-3 litry wody do odpływu, np. po weekendzie, szczególnie gdy wody używa się w zastosowaniach krytycznych.
- Dla zapewnienia efektywnej pracy miernika rezystywności, należy czyścić elektrody jego czujnika co 3-4 miesiące.
- Nigdy nie wolno zamykać odpływu przesączu lub koncentratu z membrany odwróconej osmozy, jeśli jej zasilanie wodą jest wciąż otwarte. Gdy wylot przesączu jest zamknięty, wystąpi ciśnienie wsteczne, co może spowodować rozerwanie membrany, czyniąc ją bezużyteczną. Podobnie nie należy nigdy zatrzymywać odbioru koncentratu podczas normalnej pracy, inaczej wystąpi osadzanie i blokowanie powierzchni membrany.
- Dla wydłużenia żywotności membrany odwróconej osmozy, należy zapewnić jej regularne płukanie i czyszczenie. Płukanie usuwa substancje osadzone lub wytrącone na powierzchni membrany.
- Należy używać ultra-czystej aparatury (szklanej lub z tworzywa) do pracy z wodą ultra-czystą. W przypadku czułych technik analitycznych, pojemniki na próbki powinny być moczone w wodzie ultra-czystej przed użyciem. Naczynia szklane są zalecane, gdy jakość wody pod względem organicznym jest krytyczna, podczas gdy pojemniki z tworzywa powinny być używane gdy krytyczna jest jakość pod względem metali śladowych, mogą wymagać też specjalnego przygotowania.

Kolmet 2001