

WODA.

(inż. E Berger)

Występujące w przyrodzie wody można podzielić na powierzchniowe, gruntowe (podziemne) i opadowe. Wody te nigdy nie są czyste w chemicznym pojęciu tego słowa. Nawet najczystsze z nich, wody opadowe, zawierają pewne ilości rozpuszczonych gazów (N_2 , O_2 , CO_2), azotan amonu, pył itp. Ilość tych zanieczyszczeń jest b. nieznaczna, nawet w okręgach przemysłowych, zwłaszcza po dłuższym okresie trwania opadów, jak to wykazuje tab. 1, zestawiona wg danych amerykańskich.

Tab. 1. Zanieczyszczenia znalezione w wodzie deszczowej, śniegu i gradzie (mg/l)

Składniki	Deszcz 4-godzinny	Deszcz 22-godzinny	Śnieg	Grad.
CaO i MgO	24	4,5	11,0	16
NH_3	1,5	2,0	6,0	1
Chlorki jako Cl	7,0—8,0	4,0	12,0	7
Siarczany jako SO_4	26,0	3,0	21,0	17
Azotany jako NO_3	1,0	—	1,0	—
Fe	0,9	0,1	1,2	2,4
SiO_2	0,15	0,15	3,0	1,0

(Rozpuszczone gazy nie są uwzględnione w powyższej tablicy).

Suma zanieczyszczeń w wyjątkowych wypadkach przewyższa 0,01%.

Czysta woda posłużyła do ustalenia wielu jednostek fizycznych. W układzie bezwzględny miar 1 kilogram jest to masa równa masie wody, zajmującej w temp. $4^{\circ}C$ pod ciśnieniem atmosferycznym objętość 1 litra (1 g wody w tychże warunkach ma objętość 1 cm^3). Jednostką gęstości jest 1 g/cm^3 . Woda w 4° posiada gęstość równą 1 g/cm^3 . Za jednostkę ciepła pod nazwą kalorii kilogramowej (kcal) przyjęto tę ilość ciepła, która ogrzewa 1 kg wody od $14,5^{\circ}$ do $15,5^{\circ}$. Kaloria gramowa (cal) jest 1000 razy mniejsza od kilogramowej.

Pod ciśnieniem atmosf. temperatura topnienia lodu i temperatura wrzenia wody są temperaturami zasadniczymi (0° i 100°) dla skali temperatur Celsjusza (1742).

Gęstość lodu ($0^{\circ},1$ at) wynosi 0,916—0,918 1 g lodu w tychże warunkach zajmuje objętość 1,091 cm^3 .

Tab. 2. Względne gęstości i objętości wody.

Temp. °C	Gęstość	Objętość	Temp. °C	Gęstość	Objętość
+ 0	0.99987	1.00013	31	0.99537	1.00466
1	993	007	32	505	497
2	997	003	33	473	530
3	999	001	34	440	563
4	1.00000	1.00000	35	0.99406	1.00598
5	0.99999	1.00001	36	371	633
6	997	003	37	336	669
7	993	007	38	299	706
8	988	012	39	262	743
9	981	019	40	0.99224	1.00782
10	0.99973	1.00027	41	186	821
11	963	037	42	147	861
12	952	048	43	107	901
13	940	060	44	066	943
14	927	073	45	0.99025	1.00985
15	0.99913	1.00087	46	0.98982	1.01028
16	897	103	47	940	072
17	880	120	48	896	116
18	862	138	49	852	162
19	843	157	50	0.98807	1.01207
20	0.99823	1.00177	55	0.98573	1.01448
21	802	198	60	0.98324	1.01705
22	780	221	65	0.98059	1.01979
23	756	244	70	0.97781	1.02270
24	732	268	75	0.97489	1.02576
25	0.99707	1.00294	80	0.97183	1.02899
26	681	320	85	0.96865	1.03237
27	654	347	90	0.96534	1.03590
28	626	375	95	0.96192	1.03959
29	597	405	100	0.95838	1.04343
30	0.99567	1.00435			

Ciepło właściwe lodu (w zakresie temp.: od -20° do -1°) = 0,502 kcal/kg.

Średnie ciepło właściwe pary wodnej, w zakresie temp. 100° do 800° wynosi 0,482 kcal/kg.

1 litr pary wodnej w 0° C pod ciśn. atm. waży 0,8061 g, w 100° — 0,6057 g. Zatem w 100° para wodna zajmuje objętość 1650 razy większą, aniżeli taki sam ciężar wody.

(Por. również tablice na stronach 61 i 62 kalendarza).

Zmiany względnej gęstości wody w zależności od temperatury (pod ciśnieniem atmosfer. zestawione są w tabl. 2).

Po dostaniu się na powierzchnię ziemi, wody opadowe częściowo spływają do rzek, jezior i mórz, częściowo parują. Pozostała ich część przesiąka przez warstwy gleby aż do natrafienia na warstwy nieprzepuszczalne. W ten sposób powstają wody gruntowe.

Po drodze woda rozpuszcza (zwłaszcza zawierająca w roztworze CO_2) rozmaite składniki gleby. W wyniku tego w wodach gruntowych obecne są m. in. kwaśne węglany Ca, Mg i Fe.

Wody powierzchniowe — strumyki, rzeki, stawy, jeziora — są na ogół bardziej zanieczyszczone od wód gruntowych.

Wody mórz i oceanów zawierają stosunkowo znaczne ilości rozpuszczonych soli:

Morze Bałtyckie — 1,1% (w tym 0,8% NaCl), oceany — 3,5% (w tym ok. 2,7% NaCl).

Morze Martwe zawiera ok. 22% rozmaitych soli: 7% NaCl, 12% MgCl_2 , 1,2% KCl i 2,2% CaCl_2).

Tab. 3. Klasyfikacja zanieczyszczeń wód naturalnych (wg Stumpera)

Z a n i e c z y s z c z e n i a						
makroskopowe		koloidowe		cząsteczkowe		
organiczne	mineralne	organiczne	mineralne	sole (jony)		gazy
pływające zawieszone tonące	w wodzie	substancje humusowe, oleje, tłuszcze	SiO_2	kationy	aniony	
				Ca^{++}	HCO_3^-	CO_2
				Mg^{++}	SO_4^{--}	O_2
				$\text{Na}^+(\text{K}^+)$	Cl^-	N_2
				Fe^{++}	NO_3^-	H_2
				Al^{+++}	SiO_3^{--}	

Zanieczyszczenia makrodyspersyjne spotykane są głównie w wodach powierzchniowych, bardzo rzadko — w płytkich wodach gruntowych.

Rozpuszczone w wodzie sole wapnia i magnezu powodują tzw. twardość wody. Występują one w wodzie bądź to jako kwaśne węglany, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (twardość węglanowa nazywana również twardością przemijającą, gdyż przy nagrzaniu wody do wrzenia kwaśne węglany zawarte w niej ulegają rozkładowi:



bądź też jako sole kwasów nietlonych (twardość niewęglanowa, stała) Suma twardości niewęglanowej i węglanowej danej wody jest jej twardością ogólną.

Poza tym rozróżnia się twardość wapniową i magnezową.

Miarą wymienionych rodzajów twardości są tzw. stopnie twardości (°tw.) Rozróżnia się stopnie twardości: niemieckie (przyjęte w Polsce i innych krajach Europy Środkowej i Wschodniej), francuskie, angielskie i amerykańskie (U. S. A).

1° tw. niem. odpowiada zawartości 10 g CaO w 1 m³ wody, czyli 10 mg CaO w litrze.

1° tw. franc. odpowiada 10 g CaCO₃ w 1 m³ wody, — 10 mg CaCO₃ w litrze.

1° tw. ang. odpowiada 1 grain'owi CaCO₃ w 1 gallonie brytyjskim wody.

1° tw. ameryk. odpowiada 1 grain'owi CaCO₃ w 1 gallonie U. S. A.

Bardziej racjonalne jest wyrażanie twardości liczbą milirównoważników w litrze (skrót mval/l). 1 mval/l odpowiada rozchodowi 1 cm³ 0,1 n — roztworu odczynnika przy miareczkowaniu 100 cm³ badanej wody. Rozchód a cm³ powyższego roztworu odpowiada a mval/l.

Przykład: twardość węglanową wody oznacza się, miareczkując 100 cm³ badanej wody 0,1 n — HCl.

(Zgodnie z równaniem: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2$ na gramcząsteczkę $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, równoważną gramcząsteczce CaO, przypadają 2 gramcząsteczki HCl. Gramcząsteczka HCl (36,5 g) jest jednocześnie gramorównoważnikiem HCl; gramorównoważnik CaO równy jest $56 : 2 = 28$ g, 1 n-roztwór HCl zawiera w litrze 1 gramorównoważnik HCl, w 1 cm³ — 36,5 mg HCl, co odpowiada 28 mg CaO. 1 cm³ 0,1 n- HCl (3,65 mg) odpowiada 2,8 mg CaO. Są to odpowiednie milirównoważniki i dziesiąte ich części. Jeżeli przy miareczkowaniu 100 cm³ wody zużyto a cm³ 0,1 n- HCl, to zawiera ona 0,1 a milirównoważników CaO, tj. 2,8 a mg. W 1 litrze zawarty jest 28 a mg CaO, zatem a mval/l CaO, zgodnie z podaną definicją mval/l.

Tab. 4. Wzajemny stosunek rozmaitych stopni twardości oraz mval/l

	m val/l	1 ^o tw. niem.	1 ^o tw. fr.	1 ^o tw. ang.	1 ^o tw. USA.
mval/l	1	2,8	5,0	3,5	2,92
1 ^o tw. niem.	0,357	1	1,79	1,25	1,044
1 ^o tw. franc.	0,2	0,56	1	0,7	0,583
1 ^o tw. ang.	0,286	0,8	1,43	1	0,833
1 ^o tw. USA.	0,342	0,958	1,71	1,2	1

Stopnie twardości U. S. A. wychodzą z użycia. Wyniki oznaczeń podawane są obecnie w U. S. A. jako liczby części badanej substancji w milionie części wody (parts per million — skrót: p. p. m.)

Tab. 5. Mnożniki do przeliczania wyników analizy wody (na podstawie równoważników CaCO₃).

	p. p. m.	mg/l	cz. w100000cz.	1 ^o tw. fr	1 ^o tw. ang.	1 ^o tw. U. S. A.
p. p. m.	1	1,0	0,10	0,10	0,07	0 0583
mg/l	1	1,0	0,10	0,10	0 07	0 0583
cz. w 100000 cz.	10	10,0	1,00	1,00	0,70	0 583
1 ^o tw. franc.	10	10,0	1,00	1,00	0,70	0 583
1 ^o tw. ang.	14,3	14,3	1,43	1,43	1,00	0 833
1 ^o tw. U. S. A.	17,1	17,1	1,71	1,71	1,2	1,00

Wymagania stawiane wodzie.

Wymagania jakim powinna odpowiadać woda, zależą od celu do jakiego jest przeznaczona.

- a) Woda w życiu codziennym (do picia, gotowania, mycia itp.). Woda do picia powinna być przezroczysta, bezwonna, mieć przyjemny, orzeźwiający smak i nie powinna zawierać szkodliwych dla zdrowia substancji i drobnoustrojów. Nie można podać dokładnych wymagań, co do pożądanych wzgl. dopuszczalnych składników w wodzie do picia. Orientacyjne dane zestawione są w tab. 6.

Tab. 6. Klasyfikacja wód według przydatności do picia.

	Woda			
	dobra	zdatna do picia	podejrzana	nie nadająca się
Ogólna tward. w ° niem.	2,5—7,5	7,5—15	> 15	> 56
Chlorki, jako NaCl (mg/l)	< 27	< 66	< 165	> 165
Siarczany, jako SO ₃ (mg/l)	2—5	5—30	> 30	> 50
Związki organiczne (utlenialność w mg/l O)	< 1	< 2	3—4	> 4

Niepożądana jest zawartość soli NH₄, azotynów i azotanów — często produktów rozkładu ciał białkowych. Większe ilości soli żelaza mogą nadać wodzie przykry smak oraz powodować zakłócenia w organizmie. Zawartość pewnych ilości tlenu i CO₂ jest pożądana.

b) Woda do celów przemysłowych.

Stawiane wymagania zależą od rodzaju przemysłu, są więc różnorodne. Przemysł spożywczy. Woda do celów tego przemysłu nie powinna zawierać żelaza i manganu.

W piwowarstwie skład wody stanowi o smaku piwa; p_x w granicach 4,5—5,5. Nie powinna zawierać związków organicznych, większych ilości chlorków. Dla piw jasnych wymagana jest woda o małej twardości, dla ciemnych gatunków piwa dopuszczalna jest zawartość większych ilości kwaśnych węglanów.

W fabrykach wódek i likierów do rozcieńczania alkoholu niezbędna jest woda zupełnie miękka.

Przemysł konserw jarzynowych również wymaga wód możliwie miękkich; wody o twardości ponad 10° tw. niem. nie powinny być używane. Do wyrobu lodu sztucznego nie nadaje się woda zawierająca kwaśne węglany (mętny lód).

Przemysł włókienniczy stosuje wodę miękką, nie zawierającą związków organicznych ani też Fe i Mn. Zawartość żelaza powinna być poniżej 0,1 mg/l.

Podobne wymagania stawiają przemysły celulozowy i papierniczy. Specjalnie niepożądana jest obecność MgCl₂, który ujemnie wpływa na klejenie i barwienie papieru.

c) Woda do zasilania kotłów.

Dawniej poprzestawano na usuwaniu składników kamieniotwórczych, tj. związków Ca i Mg.

Nowoczesne wysokoprężne kotły stawiają wodzie zasilającej kotły b. wysokie wymagania.

W wodzie surowej (bez zawiesin) najczęściej spotykane są następujące zanieczyszczenia.

Tab. 7. Zanieczyszczenia wody surowej.

Gazy rozpuszczone	Ciała trudno rozpuszcz., mogące tworzyć kamień kotłowy	Ciała łatwo rozpuszczalne	Zanieczyszczenia przypadkowe (miejscowe)
CO ₂	CaCO ₃	NaCl	NH ₃
N ₂	MgCO ₃	CaCl ₂	sole kw. azotowego
O ₂	CaSO ₄	MgCl ₂	sole kw. azotowego
	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeCO ₃	MgSO ₄	ciała organiczne

B. niepożądane są gazy rozpuszczone: tlen i CO₂, nagryzające żelazo, powodujące korozję kotłów, podgrzewaczy i przewodów.

Ciała trudno rozpuszczalne powodują tworzenie się kamienia kotłowego. Kamienie kotłowe, osadzające się podczas odparowywania wody na ściankach kotłów, są złymi przewodnikami ciepła. W wyniku ich powstania: zwiększony rozchód paliwa i niebezpieczeństwo miejscowego rozżarzenia się blachy kotłowej.

Tab. 8. Przewodnictwa cieplne różnych rodzajów kamieni kotłowych.

Skład kamieni kotłowych	Przewodnictwo w kcal/m ² . g. °C
Krzemiany	0,2 — 0,5
Gips	0,5 — 0,7
bezpost. CaCO ₃	0,2 — 1,0
krystal. CaCO ₃	0,5 — 5,0

Najniebezpieczniejszy jest więc kamień kotłowy krzemianowy o strukturze porowatej.

Metody oczyszczania wody.

Prawie zawsze stosowana jest woda przezroczysta. Zawiesiny usuwa się drogą filtrowania przez żwir i piasek. W użyciu są filtry powolne i pośpieszne.

Specjalnie starannie musi być filtrowana woda do picia; usuwane są przy tym również i drobnoustroje (nieszkodliwe i chorobotwórcze). Przy stosowaniu filtrów pośpiesznych zarazki chorobotwórcze często nie są usuwane w dostatecznym stopniu. W takich przypadkach wyjąławia się wodę. Do tego celu służy chlor gazowy (wystarcza przeważnie 0,1 do 0,3 g chloru na metr sześć. wody). W Stan. Zjednocz. prowadzone są próby zastosowanie do tego celu chlorynu sodowego, NaClO_2 .

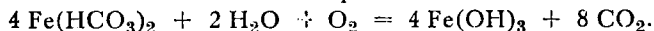
B. drobne cząstki glinu itp. nie są usuwane przez filtry piaskowe. Wtedy stosowane są metody chemiczne, oparte na koagulacji wodorotlenków glinu i żelaza.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{CaSO}_4 + 6 \text{CO}_2$. — Dobre wyniki uzyskiwane są, gdy woda zawiera dostateczne ilości kwaśnych węglanów i jej pH wynosi 4—6. Do wód miękkih lub o małej twardości węglanowej dodaje się obliczone ilości $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

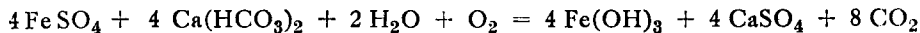
$2 \text{FeCl}_3 + 3 \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{CaCl}_2 + 6 \text{CO}_2$. Dla tej reakcji dopuszczalne jest nieco wyższe pH. Czas tworzenia się kłaczków i ich odstawianie się wynosi do 3-ch godzin.

Usuwanie żelaza i manganu.

Odżelezianie wody uskutecznione jest drogą utleniania rozpuszczonych w wodzie soli żelaza tlenem powietrza:



Trudniejsze jest usuwanie FeSO_4 wobec konieczności zubożniania, (np. za pomocą $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, który musi być obecny w dostatecznej ilości) wydzielającego się kwasu siarkowego:



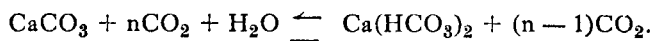
Usuwanie Mn (odmanganianie) przeprowadzane jest w analogiczny sposób. Utlenianie zachodzi tylko w środowisku zasadowym ($\text{pH} > 7$). Niekiedy stosowane są do odmanganiania specjalne zeolity manganowe.

Odkwaszanie wód (usuwanie CO_2).

Wszystkie wody a przede wszystkim gruntowe zawierają większe lub mniejsze ilości bezwodnika kwasu węglowego, CO_2 . Rozróżniamy CO_2 związany i półzwiązany oraz wolny tj. rozpuszczony w wodzie jako taki. W kwaśnych węglanach połowa CO_2 jest związana, połowa zaś półzwiązana, usuwalna drogą ogrzewania wody: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

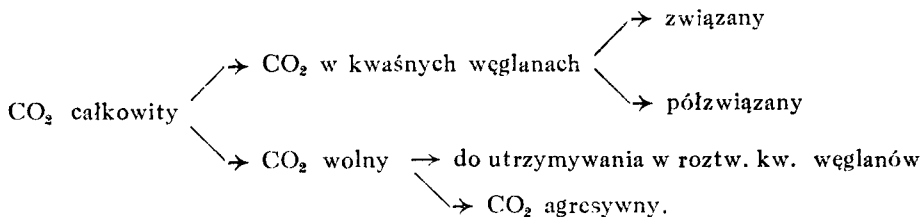
Wolny CO₂ dzielimy na:

- 1) potrzebny do utrzymywania rozpuszczonych w wodzie kwaśnych węglanów w roztworze, w myśl równania



- 2) agresywny (nagryzający), zapobiegający powstawaniu warstw ochronnych CaCO₃ z domieszką rdzy.

Ogólny schemat:



Tab. 9. Ilości CO₂ potrzebne do utrzymania kwaśnych węglanów w roztworze wodnym.

Twardość węglanowa	il. CO ₂	Twardość węglanowa	il. CO ₂
1,26 ^o niem.	0,00 mg/l	13,86 ^o niem.	35,0 mg/l
2,52 ^o	0,5 „	15,12 ^o	47,0 „
3,78 ^o	1,0 „	16,38 ^o	61,0 „
5,04 ^o	1,75 „	17,64 ^o	76,4 „
6,30 ^o	3,00 „	18,90 ^o	93,5 „
7,56 ^o	4,8 „	20,16 ^o	112,5 „
8,82 ^o	7,5 „	21,42 ^o	132,9 „
10,08 ^o	11,5 „	22,68 ^o	154,5 „
11,34 ^o	17,2 „	23,94 ^o	176,6 „
12,60 ^o	25,0 „	25,20 ^o	199,5 „

Metody odkwaszania.

- 1) napowietrzanie wody (pozostaje nieusuniętych 5 do 7 mg/l CO₂)
- 2) filtrowanie przez marmur: $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.
(Wzrasta twardość węglanowa wody)
- 3) dodatek wody wapiennej: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.
(Wzrasta twardość węglanowa wody).
- 4) zastosowanie magnofiltru o składzie CaCO₃.MgO. (Odkwaszanie szybsze, do roztworu wchodzi sole magnezowe, co nie jest pożądane).

Zmiękczenie wody.

Polega na usuwaniu składników powodujących twardość wody, tj. związków Ca i Mg.

Dla kotłów walczkowych i płomieniowych dopuszczalne jest stosowanie wody zasilającej o twardości do 6° tw. niem. Dla kotłów wodnorurkowych, zależnie od ciśnienia roboczego — < 0,5°, < 0,2° i < 0,1° tw. niem. Rozróżniamy metody zmiękczenia chemiczne, termiczne i mieszane: termiczno-chemiczne i elektrotermiczne.

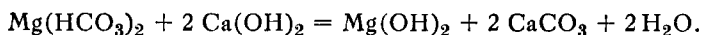
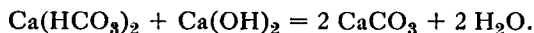
Metody chemiczne zmiękczenia można podzielić na 2 grupy. W jednej Ca i Mg są wytrącane za pomocą odpowiednich odczynników w postaci związków trudno rozpuszczalnych. — osadów, które oddzielane są od zmiękczonej wody w osadnikach i drogą filtrowania. Do drugiej grupy chemicznego zmiękczenia należą metody oparte na wymianie zasad (kationów).

a) Metody zmiękczenia wody drogą osadzania składników kamieniotwórczych.

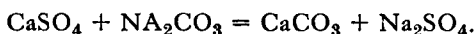
1. Metoda wapienno-sodowa.

Odczynniki: wapno (woda wapienna) i soda.

Wapno usuwa twardość węglanową, wiąże wolny CO₂ i reaguje z chlorem magnezu.



Soda usuwa twardość niewęglanową:

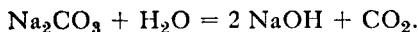


CaCO₃ i Mg(OH)₂ wypadają pod postacią mulku. W wodzie oczyszczonej: poza niewytrąconymi związkami Ca i Mg (twardość pozostała, szcążkowa), nadmiar sody i siarczan sodowy.

Zalety metody: tanie odczynniki, dawkowanie automatyczne na podstawie wyników analizy wody. Wady: długi czas trwania zmiękczenia, — 2 do 3 godz.; stosunkowo duża twardość pozostała (w temp. zmiękczenia 20° — ok. 5° tw. niem., w 50° — 3—4° tw., w 80°—0,8° tw.). Wady te usuwa w znacznym stopniu odmiana powyższej metody, tzw. „kontaktowa“, opracowana przed ostatnią wojną pod nazwami „wistros“, „wirbos“, „spiractor“. W metodzie tej do stożkowego reaktora wprowadza się wodę i odczynniki w ten sposób, aby ciało kontaktowe (specjalny żwir) zostało w ruchu wirowym unoszone ku górze. Na ziarnkach żwiru wytrącone związki Ca i Mg odkładają się w postaci bezwodnej, skutkiem czego wzrasta stopniowo objętość ziarenek kontaktu. Po dojściu do pewnej wielkości są

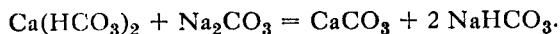
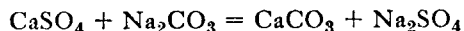
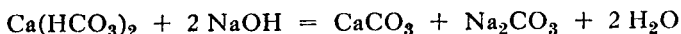
one usuwane z reaktora i zastępowane przez świeże. Zalety: nie powstaje mułek CaCO_3 i $\text{Mg}(\text{OH})_2$, jak w zwykłej metodzie, reakcja jest zakończona przed upływem 5 minut, aparatura zajmuje mało miejsca.

2. Nadmiar sody wziętej do zmiękczenia wody, wraz z wodą oczyszczoną (zasilającą) przedostaje się do kotła i tam ulega hydrolizie (w wysokiej temp., a więc pod znacznym ciśnieniem). Hydroliza jest nieznaczna, gdy ciśnienie w kotle wynosi 3 at., 65% — 15 at., 100% — 50 at. i odbywa się zgodnie z równaniem:



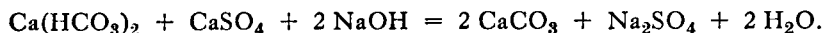
Na wykorzystaniu powstającego NaOH oparta jest metoda regeneracji.

Z dolnej części kotła usuwa się co pewien czas pewną ilość wody kotłowej wraz z mułkiem i doprowadza się ją do reaktora, w którym, zmieszana z wodą surową, podgrzewa tę wodę i reaguje z nią wg równań:



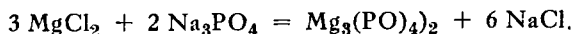
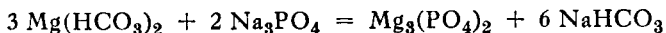
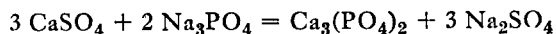
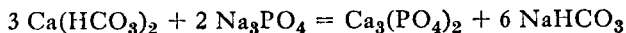
Tą drogą ulega zmniejszeniu rozchód wapna i sody do zmiękczenia. Brakujące do przeprowadzenia zmiękczenia wody odczynniki muszą być oczywiście uzupełnione. Powracający do kotła kwaśny węglan sodowy rozkłada się w kotle: $2 \text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. —

3. Zmiękczenie wody za pomocą NaOH jest kosztowniejsze. Stosowane jest w tych przypadkach, gdy woda zawiera mniej więcej równoważne ilości kwaśnego węgla wapniowego i gipsu.



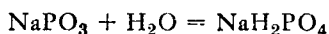
4. Metoda fosforanowa.

Stosuje jeden odczynnik, — fosforan trójsodowy, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

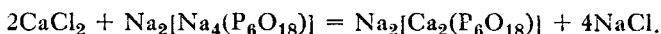


Zachodzące w rzeczywistości reakcje są bardziej skomplikowane: powstające fosforany wapnia zawierają więcej Ca, niż to wynika z powyższych równań. Jest możliwe, że powstają osady o charakterze apatytowym: $\text{Ca}_3\text{PO}_4 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$.

Zalety metody: krótszy czas zmiękczenia — 1 godz. w 80°, mała twardość szczątkowa — 0,1° tw. niem. Fosforany Ca i Mg nie tworzą kamienia kotłowego, wydzielają się jedynie jako mulki. Metoda natomiast jest droga, gdyż na 1° tw. n. i m³ wody rozchód Na₃PO₄·12H₂O wynosi od 16 do 20 g. Stosowana jest przeważnie do ostatecznego zmiękczenia wody, uprzednio zmiękczonej przy pomocy wapna i sody. Niedogodnością omawianej metody jest ta okoliczność, że wymagana jest pewna alkaliczność wody, gdyż w przeciwnym razie powstają fosforany dwu — wzgl. jednowapniowe. W wielu krajach zamiast Na₃PO₄ do zmiękczenia wody stosowany jest sześciometafosforan sodu, (NaPO₃)₆. Produkt techniczny, znany pod nazwą kalgonu, zawiera nieco mniej, bo ok. 67% P₂O₅. Wprowadzany jest bezpośrednio do kotła, gdzie reaguje z alkaliczną wodą kotłową.



Z solami wapnia kalgon tworzy sole kompleksowe:



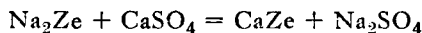
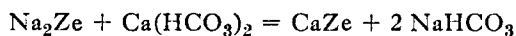
Zapobiega się tą drogą powstawaniu osadów w rurociągach wodnych, chłodnicach, ekonomizerach.

Wszystkie opisane metody zmiękczenia wody są wrażliwe na wahania stopnia twardości zmiękczonej wody surowej. Tej wady nie mają metody, oparte na wymianie zasad.

b) Metody oparte na wymianie kationów.

1. Metoda zeolitowa.

Uwodnione glinokrzemiany sodowe, jak np., natrolit, należące do grupy zeolitów, o wzorze Na₂O · Al₂O₃ · m · SiO₂ · nH₂O, posiadają zdolność wymieniania sodu na Ca i Mg. Tę zdolność wymiany wykorzystano do zmiękczenia wody: surową wodę sący się przez odpowiednią warstwę ziarnistej masy zeolitowej. Od r. 1905 wytwarzane są również (wg patentów Gansa) zeolity sztuczne, którym nadano nazwę permutytów. Jeśli oznaczyć grupę Al₃O₃ · mSiO₂ · nH₂O przez Ze, to reakcje wymiany sodu na wapń i magnez, tj. zmiękczenia, wody będą:

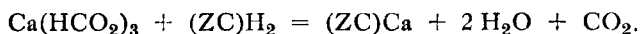


Zużytą (wyczerpaną) masę zeolitową, wzgl. permutytową, regeneruje się nadmiarem 10%-go roztworu NaCl: CaZe + 2 NaCl = Na₂Ze + CaCl₂; po przemyciu wodą filtr zeolitowy jest gotowy do ponownego użycia.

Zalety: szybka, bo natychmiastowa wymiana zasad, zmiękczenie na zimno, zbędność urządzeń do dawkowania odczynników, niewrażliwość na zmiany składu wody.

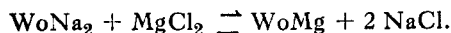
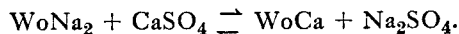
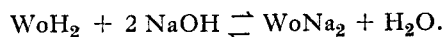
2. Zmiękczenie „zeolitami organicznymi”, organolitami.

Pierwszymi w technice zastosowanymi organicznymi wymiennicami były wymiennicze węglowe, otrzymywane z torfu, węgla brunatnego i niektórych gatunków węgla kamiennego drogą sulfonowania. np. ogrzewania z bezwodnikiem kwasu siarkowego w 150° w zamkniętych naczyniach przez kilka godzin. Otrzymane produkty, którym nadawano rozmaite nazwy (zeokarby, H — permutyty, alassiony itp.) zawierają wodór, który może być wymieniany na metale (Na, Ca, Mg). Jeśli wymienniczom węglowym nadamy umowny wzór (ZC)H₂, to reakcję wymiany można napisać:



Były to pierwsze wymiennicze kationów, które jednocześnie usuwały CO₂ kwaśnych węglanów. Mała ich wytrzymałość mechaniczna była powodem stopniowego ich wypierania przez specjalne żywice syntetyczne. Przed wojną wytwarzane były w Niemczech według angielskich patentów Adamsa i Holmesa (1935) r.) przez I. G. Farbenind. w wytwórni w Wolfen. Nadano im nazwę wofatytyw. Były to początkowo wymiennicze kationów — produkty kondensacji fenoli z aldehydami przeważnie sulfonowane.

Istnieją rozmaite rodzaje tych żywic syntetycznych, które oznaczono literami A, C, K, P i R zależnie od ich wytrzymałości mechanicznej i czynnych grup (OH, COOH, SO₃H). Wszystkie te żywice są nierozpuszczalne w wodzie i wytwarzane pod postacią ziarenek. Po wojnie zaczęto je produkować w Stanach Zjednoczonych Półn. Ameryki i w Z. S. S. R. — Oznaczając wofatyty symbolem WoH₂, można przedstawić reakcję wymiany jak następuje:

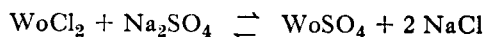
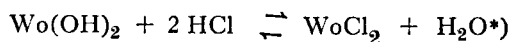


Do regeneracji służyć może kwas solny. Wodorowy wofatytyw (żywica) rozkłada wówczas kwaśne węglany Ca i Mg.

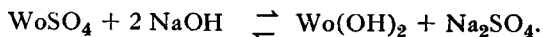
Tab. 10 Porównanie własności rozmaitych wymienniczy zasad.

Rodzaj	Sprawność kg CaO usuw. przez m ³ wymien.	Wymiary ziaren i opór filtra	Wpływ odczynu (pH) wody	Dopuszcz. temperatura wody zmiękczonej	Straty materiału przez ścieranie	Twardość szczątkowa
Zeolity naturalne	3	0,2 do 0,8 mm duży opór	Kwaśne i zasadowe wody rozkładają p _H około 7	najwyżej 40°	dość znaczne	< 0,1° tw. niem.
wymien. węglowe	4 do 7	0,3 do 1 mm opór mały	odporne na działanie kwasów p _H nie > 7,7	do 60°	znaczne	< 0,1° tw. niem.
Żywic syntet.	11	0,4 — 2 mm opór mały	odporne względem kwasów p _H do 9,5	do 95°	nie oznaczalne	< 0,1° tw. niem.

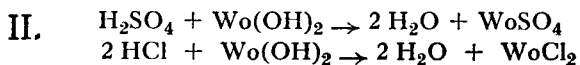
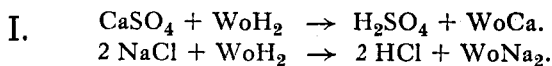
Inny rodzaj żywic, zawierających grupy zasadowe (żywice M i N) wymienia aniony:



regeneracja:



Kolejne stosowanie żywic, wymieniających kationy i aniony umożliwia „odsalenie“ (demineralizację całkowitą) wody. W wyniku uzyskuje się wodę o własnościach destylowanej.



Trzeci filtr buforowy — (WoNa₂ i WoH₂) daje wodę obojętną.

Termiczne metody zmiękczenia wody.

W metodach tych ogrzewa się wodę surową, nie doprowadzając jej do wrzenia.

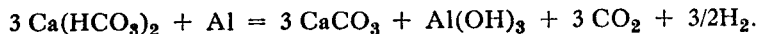
*) W rzeczywistości zachodzą raczej reakcje przyłączania kwasów (por. art. T. Kozłowskiego o organolitach w Przegl. Chemicznym 1948, str. 223).

W myśl reakcji $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ usuwana jest prawie całkowicie twardość węglanowa wody. Całkowite zmiękczenie wody osiągnąć jest za pomocą metod mieszanych.

W metodzie termiczno-chemicznej Balcke'go wodę po podgrzaniu zadaje się sodą i w końcu fosforanem trójsodowym.

Metody termiczno-elektrochemiczne.

Woda ogrzana w podgrzewaczu po usunięciu mułku węglanów zostaje wprowadzona do specjalnego zbiornika reakcyjnego (reaktora), w którym zawieszona jest anoda z glinu lub żelaza. Katodą jest płaszcz metalowy reaktora. Dopływająca do niego woda jest ogrzewana do 95° bezpośrednio parą. Do układu doprowadzany jest prąd stały niskiego napięcia. Poza tym podczas elektrolizy wdmuchiwane jest do reaktora ogrzane powietrze. Powstający na anodzie $\text{Al}(\text{OH})_3$ lub $\text{Fe}(\text{OH})_3$ opada pod postacią kłaczków na dno reaktora, usuwając zawieszone węglany i siarczany, tj. zmniejszając w pewnym stopniu i twardość niewęglanową. Podgrzewanie, elektroliza i mieszanie gorącym powietrzem sprzyja szybkiemu przebiegowi reakcji:



Powinno być utrzymywane optymalne pH równe 7,2—7,8.

Pozostałą twardość wody usuwa się za pomocą wymienniczy kationów.

Odkrzemianie wody surowej.

Uskuteczniane jest w przypadku zawartości w wodzie większych ilości krzemianów, względnie krzemionki koloidowej. W użyciu jest kilka metod usuwania krzemionki, np. nadmiarem $\text{Ca}(\text{OH})_2$, za pomocą glinianu sodowego, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. — Dobre wyniki daje podobno jednoczesne stosowanie $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i MgO (80 g/m³); materiały filtracyjne do oddzielania osadów muszą być oczywiście bezkrzemowe.

Usuwanie substancji organicznych.

Oleje usuwane są przy pomocy specjalnych odoliwiaczy.

Białka usuwane są całkowicie, jako ścinające się łatwo w podwyższonej temperaturze.

Gorzej przedstawia się sprawa węglowodanów, nie są bowiem dotychczas znane metody ich usuwania. W wysokiej temperaturze wody kotłowej węglowodany ulegają rozkładowi (zadymienie kotła).

W cukrowniach w przypadku przedostania się cukru do wody kotłowej konieczna jest zmiana wody w kotle.

Odgazowanie wody zasilającej.

Sprawa usuwania CO_2 (odkwaszanie wody) była już wyżej omówiona.

Tlen usuwany jest metodami fizycznymi lub chemicznymi.

Pierwsze oparte są na malejącej wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalności gazów w wodzie (por. tab. na str. 155 kalendarza). Woda ogrzana do ok. 100°C wydziela tlen prawie całkowicie (pod ciśnieniem 0,2 at — już w 60°C).

W praktyce stosuje się odgazowanie pod ciśnieniem nieco wyższym niż atmosferyczne. Zapobiega się wtedy przedostawaniu się powietrza zzewnątrz do instalacji oczyszczania wody.

Metody chemiczne oparte są na wiązaniu tlenu substancjami łatwo utleniającymi się, jakimi są np., siarczyny, wzgl. SO₂.

Usuwanie tlenu z wody zasilającej powinno być możliwie całkowite, gdyż już 0,05 mg/l tlenu w wodzie może spowodować korozję części metalowych kotłów i ekonomizerów.

Woda kotłowa.

Żadna z metod zmiękczenia wody nie usuwa całkowicie jej twardości. Przy użyciu metody wapienno-sodowej twardość pozostała (szczątkowa) jest największa: w najdogodniejszych warunkach pracy wynosi 0,5 do 1,5° tw. niem. Przy osadzaniu soli Ca i Mg metodą fosforanową — 0,1 do 0,3° tw. n. Wreszcie wymiennicze kationów dają wodę o < 0,1° tw. n. Przy zmiękczeniu wody usunięte Ca i Mg zostają zastąpione przez Na, woda zasilająca zawiera dodatkowe ilości NaCl, Na₂SO₄ i NaHCO₃ oraz Na₂CO₃ branego w pewnym nadmiarze. W kotle wobec stałego odparowywania wody stale wzrastają stężenia ciał doprowadzonych do kotła wraz z wodą zasilającą. Ulegają więc zmianom gęstość (ciężar właściwy) wody kotłowej, stopień jej alkaliczności oraz twardość. Konieczna jest zatem stała kontrola składu wody kotłowej.

Gęstość wody kotłowej oznacza się za pomocą aerometru; pomiar jej: w wodzie kotłowej ostudzonej do 20° C. Od gęstości wody kotłowej zależy m. i. prawidłowy ruch kotła: zbyt wysokie gęstości mogą być powodem pienia się wody w kotle, plucia kotła. Dla niskoprężnych kotłów dopuszczalna jest gęstość do 1,014 g/cm³, dla kotłów o ciśnieniu 15 — 25 at — poniżej 1,004 g/cm³, wreszcie dla kotłów wysokoprężnych — poniżej 1,002 g/cm³.

Często gęstość roztworów, a więc i wody kotłowej, podawana jest w stopniach Bé.

Twardość wody najczęściej oznaczana jest drogą wstrząsania ze stopniowo dodawanym mianowanym roztworem alkoholowym mydła.

Mydło z solami wapnia i magnezu tworzy sole nierozpuszczalne. Po usunięciu twardości wody dalsze dodawane ilości mydła powodują powstawanie gęstej piany, nie znikającej w ciągu kilku minut. Najdawniejsza metoda tego rodzaju — metoda Clarka stosuje roztwór mydła, którego

45 cm³ odpowiada twardości wody równej 12° tw. niem. W metodzie Boutron-Boudet rozchód 2,4 cm³ roztworu mydła odpowiada 22° tw. fr., czyli 12,3° tw. niem. — W Polsce od wielu lat stosowany jest roztwór mydła Dr. E. Neugebauera, którego 12 cm³ odpowiada 12° tw. niem. — Do oznaczania bierze się 100 cm³ badanej wody. O ile twardość wody wynosi ponad 12° tw. n. wodę rozcieńcza się odpowiednio wodą destylowaną. W metodzie Boutron-Boudet do oznaczania twardości bierze się 40 cm³.

Tab. 11. Przeliczanie stopni Be' na ciężar właściwy.

°Be'	Ciężar właściwy.	°Be'	Ciężar właściwy.	°Be'	Ciężar właściwy.	°Be'	Ciężar właściwy.
0,0	1,000	1,4	1,010	2,7	1,020	5,0	1,036
0,1	1,001	1,5	1,011	2,9	1,021	6,0	1,043
0,3	1,002	1,7	1,012	3,0	1,022	7,0	1,051
0,4	1,003	1,8	1,013	3,1	1,023	8,0	1,059
0,6	1,004	2,0	1,014	3,3	1,024	9,0	1,067
0,7	1,005	2,1	1,015	3,4	1,025	10,0	1,075
0,9	1,006	2,2	1,016	3,5	1,026	15,0	1,116
1,0	1,007	2,4	1,017	3,7	1,027	20,0	1,161
1,1	1,008	2,5	1,018	3,8	1,028	25,0	1,210
1,3	1,009	2,6	1,019	4,0	1,029	30,0	1,263

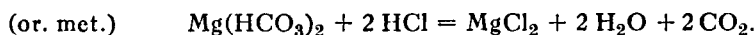
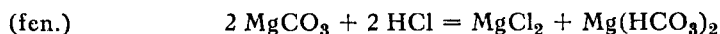
Inne metody, np. Blachera (miareczkowanie roztworem palmitynianu potasu), zmodyfikowana metoda Wartha-Pfeiffera są rzadko używane w ruchu, jako bardziej skomplikowane. Zupełnie dokładne oznaczenie twardości ogólnej wody daje wagowe oznaczenie wapnia i magnezu.

Alkaliczność wody surowej i kotłowej oznaczana jest drogą miareczkowania 0,1n- HCl. Do oznaczenia bierze się 100 cm³ badanej wody surowej. Wody kotłowe i silnie alkaliczne odmierza się w ilości 10 cm³ i rozcieńcza do 100 cm³. W tym ostatnim przypadku uzyskany wynik mnoży się przez 10. Miareczkuje się najpierw wobec fenoltaleiny, otrzymuje się alkaliczność fenoltaleinową — p, i dalej wobec oranżu metylowego (alkaliczność m). W tab. 12 zestawione są wyniki miareczkowania (oznaczania alkaliczności) rozmaitego rodzaju wód.

Tab. 12.

Wyniki miareczkowania 100 cm ³ wody badanej	Z a w a r t o ś ć		
	wodorotlenków	węglanów	kwaśn. węglan.
1. $p = 0$, $m > 0$	0	0	m
2. $p = m$	p	0	0
3. $p < m < 2p$	$2p - m$	$2(m - p)$	0
4. $p = m/2$	0	$2p$	0
5. $p < m/2$	0	$2p$	$m - 2p$

- 1) Woda nie zawiera ani wodorotlenków, ani węglanów, zawiera tylko kwaśne węglany. Takimi są przeważnie surowe wody.
- 2) W wodzie obecne są tylko wodorotlenki (pochodzące z nadmiaru wody wapiennej lub wodorotlenku sodowego wziętych do zmiękczenia wody).
- 3) Obecne są wodorotlenki i węglany (np. w wyniku hydrolizy sody w wodzie kotłowej).
- 4) $2p = m$; w wodzie obecne są tylko węglany; miareczkowanie wobec fenolftaleiny wykazuje tylko ilość związanego CO₂, nie wykazując półzwiązanego, który oznaczany jest drogą miareczkowania wobec oranżu metylowego.



- 5) Gdy $2p < m$, w wodzie obecnie są tylko węglany obojętne w ilości odpowiadającej $2p$, oraz kwaśne węglany w ilości $m - 2p$. Zbyt wysoka alkaliczność wody kotłowej powoduje tzw. „kruchosć ługową“, (caustic embrittlement, Laugenbrüchigkeit), — blacha kotłowa staje się krucha. Zachowanie pewnego stosunku ilości siarczanów, zawartych w wodzie kotłowej, do ilości sody w niej ma jakoby zapobiegać kruchosći ługowej.

Umiarkowana alkaliczność wody kotłowej chroni blachę kotłową od korodującego działania rozmaitych czynników. Konieczna jest kontrola alkaliczności wody, wzrastającej w miarę zagęszczania się wody w kotle, oraz ze względu na hydrolityczny rozkład sody w kotle. Początkowo granicę dopuszczalnej alkaliczności ustalono przez liczbę sodową.

$$\begin{aligned} \text{Liczba sodowa} &= \text{mg/l NaOH} + \frac{\text{mg/l Na}_2\text{CO}_3}{4,5} = \\ &= 40(2p-m) + \frac{53,2 \cdot 2(m-p)}{4,5} = 56,5p - 16,5m. \end{aligned}$$

Liczba sodowa powinna się mieścić w granicach 400—2000, w przypadku stosowania fosforanów do zmiękczenia (oczyszczania) wody — 100—400.

W następstwie proponowano uwzględnić również ochronny wpływ siarczynu sodowego i fosforanu trójsodowego. Otrzymano nowy wzór dla liczby sodowej:

$$\text{Liczba sodowa} = \text{mg/l NaOH} + \frac{\text{mg/l Na}_2\text{CO}_3 + \text{mg/l Na}_2\text{CO}_3}{4,5} + \frac{\text{mg/l Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}}{1,5}$$

Wzór ten jest zbyt skomplikowany, wobec czego zaproponowano zastąpienie liczby sodowej przez liczbę alkaliczną (Alkalitätzahl), uzyskiwaną drogą przeliczenia alkaliczności fenoltaleinowej (p) na NaOH. Wobec tego liczba alkaliczna = 40 p.

W przypadku całkowitej hydrolizy sody liczba alkaliczna równa jest liczbie sodowej (wg dawniejszego wzoru). Im wyższe jest ciśnienie w kotle, tym bardziej uzasadnione jest stosowanie liczby alkalicznej.

Jako wytyczne dla wartości liczby alkalicznej (w zależności od prędkości pary) podawane są:

do 20 at. nadciśn.	—	400 ± 50%
od 40 do 100 „	„	— 50 ± 50%
od 20 do 40 „	„	— 200 ± 50%

Pienienie się wody kotłowej i plucie kotła.

Zjawiskom tym towarzyszy porywanie pewnej ilości wody kotłowej przez parę. Sole zawarte w wodzie kotłowej przetrucanej z parą zanieczyszczają przewody i osadzają się na łopatkach turbin, zakłócając ich bieg. Powodem pienienia się wody kotłowej są z jednej strony budowa kotła, poziom wody w kotle itp. Z drugiej strony wpływ wywiera skład wody kotłowej: duża zawartość soli, obecność rozmaitych powierzchniowo czynnych substancji organicznych, zbyt wysoka alkaliczność wody, nadmiar w niej fosforanów itp.

Nie tylko gęstość wody kotłowej, twardość wody zasilającej i kotłowej i alkaliczność muszą być kontrolowane, ale również i zawartość innych składników.

Szczegółowe metody analizy wody podaje m. in. M. Struszyński: Analiza ilościowa i techniczna. Amerykańskie metody badania wody w opracowaniu

A. Szniolisa i J. Justa. Firmy dostarczające przyrządy do badania wody dodają często opisy metod badania.

W związku z analizą, kontrolą i sposobami oczyszczania, w szczególności zmiękczenia wód przydatne mogą być następujące tablice.

Tab. 13. Rozpuszczalność składników wody, powodujących powstawanie kamienia kotłowego, lub wchodzących w skład kamienia.

Związek	R o z p u s z c z a l n o ś ć		
	w temp. °C	g/l	przelicz. na g CaO w l
Ca(HCO ₃) ₂	15	1,89	0,655
Ca CO ₃	20	0,031	0,017
	100	0,037	0,021
Ca SO ₄	18	2,02	0,83
	100	0,65	0,26
Ca Cl ₂	20	427	214
	100	614	308
Mg CO ₃	20	0,084	0,056
	100	0,062	0,042
Mg (OH) ₂	18	0,009	0,009
Mg Cl ₂	20	353	207
	100	421	248
Mg SO ₄	20	262	122

Tab. 14. Przeliczanie mol — równoważników na st. tw., składniki powodujące twardość i związki do zwiększania wody.

m val/l	°tward. niem.	g CaO*) w m ³	g CaCO ₃ w m ³	g CaSO ₄ w m ³	g MgCO ₃ w m ³	g Na ₂ CO ₃ w m ³	g Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O w m ³
0,1	0,3	2,8	5	6,8	4,2	5,3	12,7
0,2	0,6	5,6	10	13,6	8,4	10,6	25,3
0,3	0,8	8,4	15	20,4	12,6	15,9	38,0
0,4	1,1	11,2	20	27,2	16,8	21,2	50,6
0,5	1,4	14,0	25	34,0	21,0	26,5	63,3
0,6	1,7	16,8	30	40,8	25,2	31,8	76,0
0,7	2,0	19,6	35	47,6	29,4	37,1	88,7
0,8	2,2	22,4	40	54,4	33,6	42,4	101,2
0,9	2,5	25,2	45	61,2	37,8	47,7	113,9
1,0	2,8	28,0	50	68,0	42,0	53,0	126,7
2,0	5,6	56,0	100	136,0	84,0	106	253,4
3,0	8,4	84,0	150	204,0	126,0	159	380
4,0	11,2	112	200	272	168	212	506
5,0	14,0	140	250	340	210	265	633
6,0	16,8	168	300	408	252	318	760
7,0	19,6	196	350	476	294	371	887
8,0	22,4	224	400	544	336	424	1013
9,0	25,2	252	450	612	378	477	1140
10,0	28,0	280	500	680	420	530	1267

*) Mnożnik do przeliczania CaO na Ca(OH)₂ — 1,32.

Tab. 15 Milirównoważniki.

Tlenki kwasów	mval/l	Aniony	mval/l	Kwasy	mval/l
CO ₂	22	Cl'	35,5	HCl	36,5
N ₂ O ₅	54	CO ₃ ''	30	HNO ₃	63
P ₂ O ₅	23,7	HCO ₃ '	61	H ₃ PO ₄	32,6
SO ₃	40	NO ₃ '	62	H ₂ SO ₄	49
SiO ₂	30	OH'	17		
		PO ₄ '''	31,6		
		SO ₄ ''	48	Sole	
		SiO ₃ ''	38	CaCl ₂	55,5
Tlenki zasadn.				CaCO ₃	50,0
Al ₂ O ₃	17			Ca(HCO ₃) ₂	81
BaO	76,5	Kationy		Ca(NO ₃) ₂	82
CaO	28	Al ^{···}	9	CaSO ₄	68
Fe ₂ O ₃	26,6	Ba ^{··}	69	CaSiO ₃	58
MgO	20	Ca ^{··}	20	FeSO ₄	75,8
MnO	35,5	Fe(II) ^{··}	28	FeCl ₃	54
Na ₂ O	31	Fe(III) ^{···}	18,7	KMnO ₄	31,6
		Mg ^{··}	12	MgCl ₂	47,5
		Mn ^{···}	18,6	MgCO ₃	42
Woda i wodorotlenki		Na [']	23	Mg(HCO ₃) ₂	73
				Mg(NO ₃) ₂	74
H.OH (H ₂ O)	9			MgSO ₄	60
Al.(OH) ₃	26			MgSiO ₃	50
Ca(OH) ₂	37			NaCl	58,5
Mg(OH) ₂	29			NaHCO ₃	84
NaOH	40			Na ₂ SiO ₃	61

**Tab. 16. Chemikalia stosowane do oczyszczania i zmiękczenia wody (Leick).
(Rozpuszczalność i ciężary właściwe)**

	Rozpuszczalność		Ciężar właściwy dla stężeń wynoszących ‰								
	°C	‰	3	5	8	10	12	14	16	18	20
Na ₂ CO ₃	20	17,8	1,029	1,050	1,082	1,103	1,124	1,146	1,168	1,190	1,212
	35	31,4									
NaOH	18	51,7	1,033	1,056	1,089	1,111	1,133	1,156	1,178	1,200	1,222
	80	75,8									
Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	15	9,5	1,030	1,052	1,085	1,108	—	—	—	—	—
	80	62,0									
Mleko wapienne	—	—	1,025	1,039	1,064	1,082	1,097	1,115	1,133	1,154	1,172
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	20	26,6	1,029	1,072	1,083	1,105	1,129	1,152	1,176	1,201	1,226
	80	42,2									
FeCl ₃	20	48,0	1,023	1,041	1,068	1,086	1,103	1,122	1,141	1,160	1,180
	80	84,0									
Na ₂ SO ₃ · 7H ₂ O	20	20,7	1,021	1,046	1,076	1,095	1,115	1,135	1,155	1,175	—
	80	22,6									
NaCl	20	26,4	1,022	1,037	1,059	1,074	1,090	1,105	1,121	1,136	1,153
	100	28,2									

Tab. 17. Zależność iloczynów jonowych K_{H₂O} wody i stężeń jonowych o d temperatury.

°C	K _{H₂O}	PH	POH
0	0,12 · 10 ⁻¹⁴	7,46	7,46
18	0,59 · 10 ⁻¹⁴	7,12	7,12
23	1,00 · 10 ⁻¹⁴	7,0	7,0
50	5,66 · 10 ⁻¹⁴	6,62	6,62
100	58,2 · 10 ⁻¹⁴	6,12	6,12

Tab. 18. Wartości p_H dla roztworów CO₂ w 23° C.

mg/l CO ₂	PH	mg/l CO ₂	PH	mg/l CO ₂	PH	mg/l CO ₂	PH
690	4,16	55	4,71	6,1	5,19	2,8	5,35
315	4,31	24	4,89	4,4	5,26	2,6	5,37
178	4,36	16	4,98	3,6	5,31	2,4	5,39
90	4,61	9,0	5,10	3,0	5,34	2,2	5,41

(Zwykła woda destylowana zawiera często drobne ilości CO₂ wobec czego ma odczyn kwaśny).

Tab. 19. pH niektórych alkalicznych roztworów w 23° C.

mg/l	NaOH	Na ₂ CO ₃	Na ₃ PO ₄	NH ₃	mg/l	NaOH	Na ₂ CO ₃	Na ₃ PO ₄	NH ₃
2	9,8	9,6	7,9	8,5	80	11,45	11,15	9,4	10,5
3	10,0	9,8	7,95	8,65	90	11,48	11,18	9,45	10,5
5	10,3	10,0	8,0	9,1	100	11,5	11,2	9,5	10,51
10	10,5	10,3	8,25	9,6	125	11,6	11,22	9,6	10,57
20	10,8	10,6	8,65	10,1	150	11,7	11,24	9,7	10,6
30	11,0	10,8	8,9	10,25	175	11,75	11,27	9,8	10,62
40	11,1	10,9	9,1	10,45	200	11,8	11,3	9,9	10,65
50	11,2	11,0	9,2	10,47	250	11,9	11,35	10,05	10,70
60	11,3	11,05	9,3	10,48	300	12,0	11,45	10,15	10,75
70	11,37	11,10	9,35	10,49	400	12,1	11,60	10,25	10,90

Bibliografia.

- C. Blacher: Das Wasser in der Dampf-und Wärmetechnik. Lipsk 1925.
 R. E. Hall: A Physicochemical Study of scale Formation and Boiler Water Conditioning. Pittsburgh, 1927.
 R. Stumper: Physikalische Chemie der Kesselsteinbildung und ihre Verhütung. Stuttgart, 1930.
 H. Klut: Untersuchung des Wassers an Ort u. Stelle. Berlin 1931
 Ohlmüller-Spitta. Untersuchung und Beurteilung des Wassers u. Abwassers. 5 wyd. Berlin, 1931.
 F. J. Matthews. Boiler Feed Water Treatment. 2 wyd. Londyn, 1939.
 Z. M. Sołowiej: Wodooziszka i wodopodgotowka na elektrostancjach. 2 wyd. Leningrad, 1937.
 Holluta: Chemie und chemische Technologie des Wassers. 1937.
 J. M. Kostrikin, F. E. Prochorow i S. M. Gurwicz. Piermutitowyj sposob oczistki wody. Moskwa 1939.
 N. E. Dorsey: Properties of ordinary Water-Substance Nowy Jork 1940.
 M. S. Szkrob: Wodopodgotowka i reżim kotłowej wody. Moskwa, 1941.
 J. Leick: Das Wasser in Industrie und Haushalt. Drezno i Lipsk 1941.
 F. R. Theroux, E. F. Eldridge, N. Le Roy Mallmann: Laboratory Manual for Chemical and Bacterial Analysis of Water and Sewage. 3 wyd. Nowy Jork, 1943.
 E. V. Suckling: The examination of Waters and Water Supplies. 5 wyd. Londyn, 1944.
 D. Dickinson: The chemical Analysis of Waters, Boiler- and Feed-Waters, and Effluents. Londyn, 1944/45.
 F. E. Turneure i H. L. Russell: Public Water Supplies. Nowy Jork, 1946. 4 wyd.
 S. A. Durow: Fiziko-chimiczeskije osnovy pienistogo pieriebrosa kotłowej wody. Moskwa, 1948.