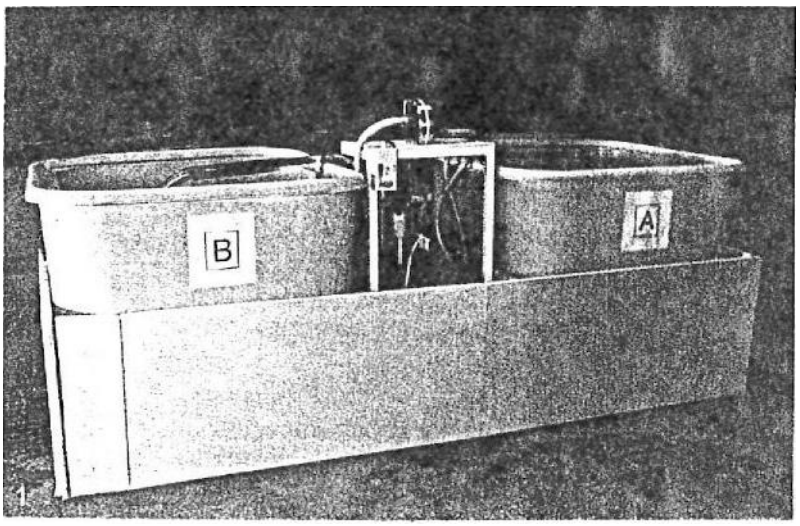
ИЗСЛЕДВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИТЕ ЕФЕКТИ ОТ ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА ОБРАБОТКА НА ВОДА

Естествените води съдържат определена концентрация на йони, главно калциеви и магнезиеви йони, получени вследствие разтварянето на минерали в почвата, с която водата е била в контакт.
Наличието на такива разтворени соли може да предизвика химико-физични проблеми в оборудването и продуктите. Всъщност, наслояванията, причинени от образуването на значителни отлагания от калциев карбонат ($CaCO_3$) по вътрешните стени на тръбите, намаляват полезното сечение на тръбопроводите и понижават коефициента на топлообмен, което води до по-ниска топлинна ефективност.
Освен това водата може да претърпи промени във вкуса, миризмата и бактериологичното си качество и да стане неподходяща за човешка употреба.
По-специално, поради утаяването на соли, по стените на тръбите се образува субстрат, който благоприятства развитието на различни микроорганизми, включително патогенни видове, спорообразуващи бактерии, дрожди и актиномицети. Тези микроорганизми могат да колонизират мрежите за питейно водоснабдяване, което създава риск от епидемии сред населението (Geldreich et al., 1985)



Фиг. 1
Двата резервоара, използвани в експеримента

Във всеки случай явлението на образуване на наслоявания зависи главно от разтворимостта на въглеродния диоксид (CO_2) във вода и от равновесието на калциевия карбонат (Legrand & Leroy, 1981). Всъщност преносът на въглероден диоксид между водата и въздуха се осъществява на границата между газовата и течната фаза, като по-голямото съпротивление е в течната фаза. Повърхностният слой на течността има тенденция бързо да достига равновесие с въздуха, докато това не се случва в по-дълбоките слоеве, където разтворените газове трябва да дифундират. Следователно, при дадено количество вода в контакт с въздуха, парциалното налягане на CO_2 във въздуха и концентрацията на CO_2 в течната фаза следват закона на Хенри при определена температура:

$CO_2 = H\ pCO_2$

където H = 0.0345 mol/(litres x atm) при 25° C

Разтвореният газ частично се хидратира според реакцията::

CO_2 (разтворен) + $H_2O \rightarrow H_2CO_3$

Въглеродната киселина се дисоциира съгласно следните равновесия:

$H_2CO_3 + H_2O \rightarrow\leftarrow H3O^+ + HCO_3^-$ $HCO_3^- + H_2O \rightarrow\leftarrow H3O^+ + CO_3^{2-}$

Всяко равновесие се характеризира с термодинамична константа на равновесие K, валидна при постоянна температура:

$K_1 = (H_3O+)(CO_3^{2-})/(HCO_3^-)$ $K_2 = (H_3O+)(HCO_3^-)/(H_2CO_3)$

където (H_3O^+), (CO_3^{2-}), (HCO_3^-), $(H2CO_3)$, представляват активностите на съответните химични видове в реалния разтвор; под „активност“ се разбира произведението между концентрацията и коефициента на активност. Например, за йона H_3O^+ :

$(H_3O^+) = y_{H_3O^+}) [H_3O^+]$

Където $[H_3O^+]$ е моларната концентрация на H_3O^+ , y е коефициентът на активност.

Чрез дефиниране на отношенията между концентрациите в равновесие като привидни константи K_1, термодинамичните константи приемат следния вид:

$$K_1 = \frac{Y_{H_3O^+}[H_3O^+]Y_{CO_3^{2-}}[CO_3^{2-}]}{Y_{HCO_3^-}[HCO_3^-]} = K_1'[(Y_{H_3O^+}Y_{CO_3^{2-}})/(Y_{HCO_3^-})]$$

От друга страна, на практика действително се използват привидните константи, тъй като определянето на термодинамичните константи изисква екстраполация при йонна сила, равна на нула. За сметка на това коефициентите на активност са показател за йонните взаимодействия, които протичат в разтворите. По-специално, средният йонен коефициент на активност на електролит е функция на йонната сила и, при достатъчно разредени разтвори, се изразява чрез уравнението на Debye–Hückel:

$$\text{Log } y = (-AZ^2 \div \sqrt{I})/(1+Ba\sqrt{I})$$

където: A и B са константи, зависещи от температурата и диелектричната константа на водата; Z е зарядът на йона; a е радиусът на йона в разтвора; I е йонната сила на разтвора, определена чрез:

$$I = 1/2 \sum Z^2{}_i c_i$$

Следователно законът за действие на масите определя константа K, която зависи главно от температурата и от йонната сила на водата. Що се отнася до калциевия карбонат, ако произведението от концентрацията на калциевите йони и концентрацията на бикарбонатните йони е по-ниско от константата K, водата може да разтваря твърдия калциев карбонат, тъй като не е наситена. Ако, напротив, същото произведение е по-високо от константата K, водата има склонност към образуване на варовикови отлагания и в този случай калциевият карбонат се утаява. Освен това разтворимостта на калциевия карбонат е обратно пропорционална на температурата: когато температурата се повишава, разтворимостта намалява. Такъв е случаят с подпочвените води, които при стайна температура обикновено нямат достатъчно силен калцифициращ ефект или не са достатъчно агресивни. От друга страна, когато водата се загрява за употреба, разтворимостта на калциевия карбонат намалява, което увеличава риска от образуване на наслоявания. Сред системите, особено податливи на подобни проблеми, са отоплителните и охладителните кръгове, системите за производство на топла вода — например бойлери и топлообменници — както и мрежите за разпределение на топла вода. Накрая, за да се осъществи образуването на частица калциев карбонат върху повърхността на метална стена, произведението от концентрацията на калциевите йони и концентрацията на карбонатните йони трябва да надвишава 40 K (условие за спонтанно утаяване).

Устройства против варовик

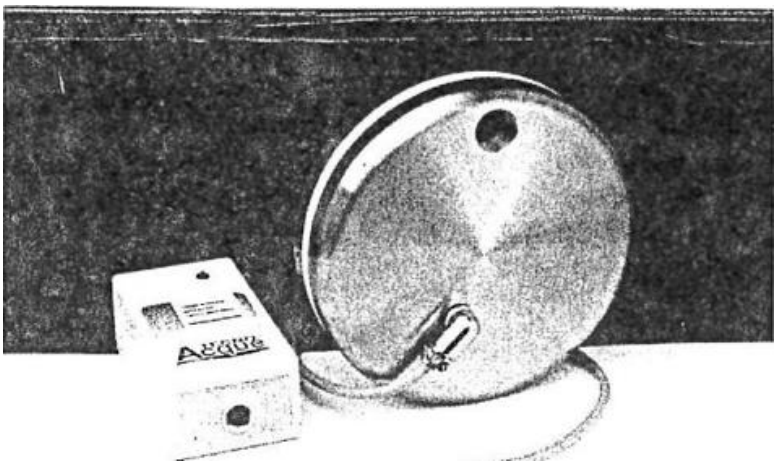
За да се избегнат подобни недостатъци, на пазара са пуснати различни устройства, чиято работа се основава на различни принципи (Meheus, 1990). Те могат да бъдат класифицирани по следния начин:

1. йонообменни омекотители за вода;
2. устройства за обратна осмоза;
3. дозиращи устройства за антиваровикови реагенти;
4. устройства с електромагнитно поле.

Устройствата от първата група елиминират или поне значително намаляват неорганичните соли, причиняващи наслоявания. По-специално, йонообменните омекотители използват катионообменни смоли, чрез които йоните, отговорни за образуването на отлагания — Ca^{2+} и Mg^{2+} — се заменят с йона Na^+.

Устройствата от втората група работят на принципа на обратната осмоза. Основният елемент на тези устройства е полупропусклива мембрана, която позволява преминаването на вода, но не и на йонни вещества (диаметърът на порите е под 50 nm). Природата и характеристиките на полупропускливите мембрани, използвани в клетките за обратна осмоза, са основният елемент на този процес. Всъщност ефективността и икономичността на обработката зависят от техните физикохимични свойства и от експлоатационния им живот (Alziati et al., 1978). По принцип чрез тази система е възможно да се елиминират всички вещества, отговорни за соленоста на водата.

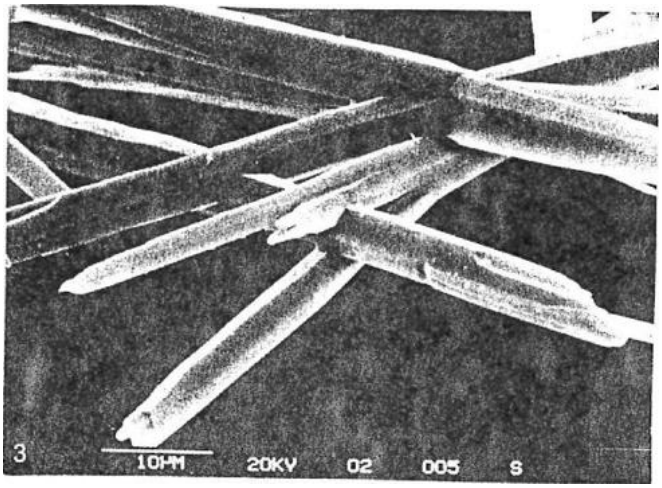
При устройствата от третата група към водата се добавят течни полифосфати и силикофосфати, които образуват комплекси с йоните Ca^{2+} и Mg^{2+}, присъстващи във водата, като ги задържат в разтвор без промяна на твърдостта на водата (Roques, 1990).



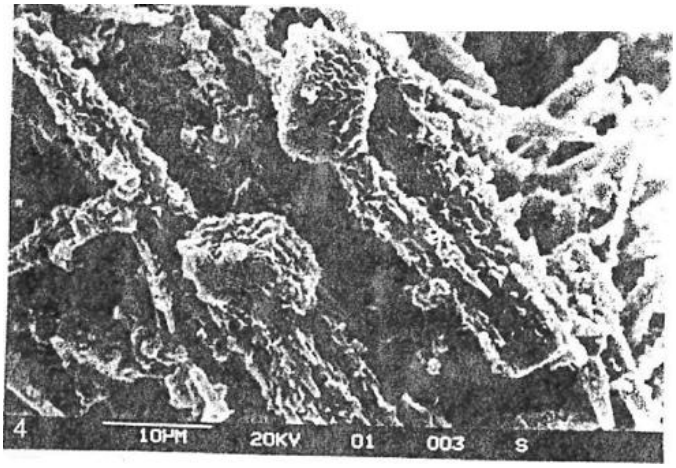
Фиг. 2
Електромагнитното устройство Tecnoacque

Накрая, устройствата от четвъртата група функционират благодарение или на действието на едно или повече постоянни магнитни полета, създадени от постоянни магнити, или на действието на променливо магнитно поле, индуцирано от постоянен ток, преминаващ през соленоид, или на действието на нисковолтов променлив ток чрез метален електрод (Koubikova, 1969). Принципът, по който действат тези магнитни полета — в диапазона между 1000 и 10 000 гауса — все още не е напълно изяснен. Подобна обработка на водата води единствено до физическа промяна в кристалите на калциевия карбонат, като по този начин предотвратява тяхното слепване и следователно образуването на наслоявания (Tricart, 1990). Тези магнитни устройства имат предимството, че не консумират много енергия и не предизвикват изместване на равновесието на калциевия карбонат.

Проведено е изследване с цел да се установят възможните биологични ефекти, произтичащи от вода, подложена на електромагнитна антиваровикова обработка.



Фиг. 3
Crystalline structure of $CaCO_3$: aragonite



Фиг. 4
Crystalline structure of $CaCO_3$: calcite

Експеримент

За това изследване бяха използвани два резервоара от фибростъкло с размери 1 m × 1 m, захранвани с кладенчова вода при температура около 22°C. Те бяха разположени в експерименталната станция за термална аквакултура на Enel — Impianto Sperimentale di Acquacoltura Termica "La Casella" в Сармато (Пиаченца).

Водата, постъпваща в единия от двата резервоара, беше подложена на електромагнитна обработка посредством устройство, предоставено от компанията Tecnoacque, докато другият резервоар служеше като контролна проба (Фигура 1).

Използваното устройство (модел 200) се състои от метален фланец, в който е разположена камерата, където се индуцира електромагнитното поле за обработка на водата.

Устройството е снабдено и със захранващ трансформатор, осигуряващ постоянно електрозахранване (Фигура 2).

Експериментът беше предшестван от изследване, проведено във Факултета по инженерство на Университета в Падуа, което установи, че обработката на водата чрез изследваното устройство води до:

а) утаяване на кристалите на $CaCO_3$ изключително под формата на арагонит, който поради игловидната си структура има ниска способност за агрегиране и компактност в сравнение с калцита, който е ромбоедричен и притежава висока способност за агрегиране и плътност (Фигури 3–4);

б) значително намаляване на дебелината на отлаганията във вътрешността на тръбата на топлообменника;

в) по-лесно отстраняване на варовиковите отлагания от външната повърхност на тръбата на топлообменника.

Всяка седмица, в продължение на три месеца, от двата резервоара беше вземана проба вода и бяха извършвани физикохимични анализи за твърдост, електропроводимост, температура и pH. Беше извършен и микробиологичен анализ на пробите (обща бактериална концентрация при 37°C). По-специално, за определяне на бактериалната концентрация беше използван методът с мембранна филтрация (MF).

Съгласно тази техника, одобрена от U.S. Health Service и описана в 13-ото издание на Standard Methods for the Analysis of Water and Waste Water (1971), изследваната водна проба преминава през стерилен филтър с пори с диаметър 0,45 μm, така че микроорганизмите, по-големи от порите на филтъра, се задържат и впоследствие се култивират в продължение на 18–24 часа в специфична хранителна среда при определена температура. Процедурата за микробиологичен анализ беше следната: От двата резервоара бяха взети по 100 ml вода, които след това бяха филтрирани чрез системата MF Millipore. След това филтърът беше поставен в петриева паничка, съдържаща абсорбиращ буфер, наситен с 2 ml хранителна среда Total Count Medium (Millipore Co., Bedford, MA, 01730, USA), и инкубиран в термостатичен хладилен шкаф в пълна тъмнина за 24 часа при температура 37° ± 0,1°C. Преброяването на колониите, развили се върху филтъра, беше извършено със стереоскоп (C. Zeiss, Германия) с 10-кратно увеличение. За всяка отделна проба бяха извършени няколко дублиращи разреждания (2–5–10 ml), за да се получи статистически значим резултат.

Целият процес беше проведен със стерилни материали и в стерилна среда, за да се избегне замърсяване.

Резултати и обсъждане

Резултатите относно физикохимичните характеристики на водата, обработена с електромагнитната система Tecnoacque (твърдост, електропроводимост, температура и pH), са представени в Таблица 1.

Както може да се види, обработката на водата с тази система не е предизвикала значителни промени във физикохимичните характеристики на водата, въпреки че обработваната вода е била изключително твърда (около 370 mg/l $CaCO_3$).

Тази обработка е променила единствено кристалната структура на калциевия карбонат — от калцит в арагонит.

По-специално беше установено, че в края на експеримента по стените на резервоара с необработена вода се е образувал дебел слой варовик, който е бил много труден за механично отстраняване (с четка), докато стените на другия резервоар са били гладки и покрити само с тънък филм, който лесно се е премахвал с обикновена водна струя.

Що се отнася до микробиологичните характеристики на водата (обща бактериална концентрация при 37°C), неочаквано беше наблюдавано значително бактерицидно действие на електромагнитното поле.

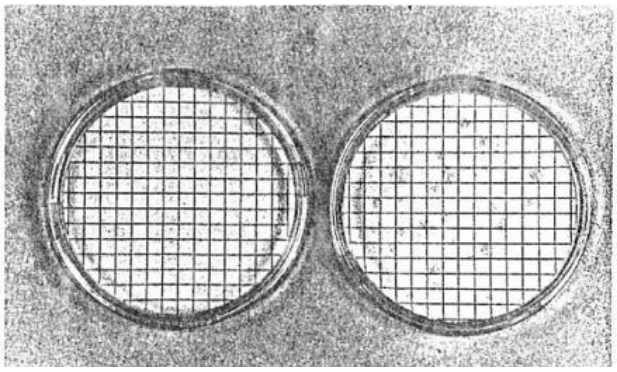
Всъщност, както показват Фигури 5 и 6, е настъпило намаляване с 80–90% на общата бактериална концентрация при преминаването на водата през изследваното устройство.

Наблюдаваният ефект може да бъде сравнен с обработка на вода с ултравиолетови лъчи с дължина на вълната 240–280 nm и ниска мощност (Mechsner et al., 1991).

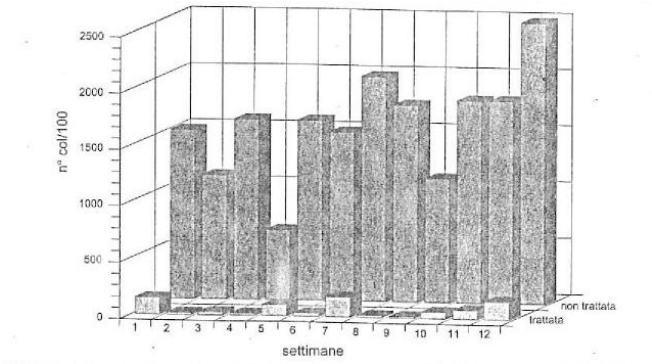
ТАБЛИЦА 1

Промяна на физикохимичните характеристики на водата, обработена с електромагнитното устройство Tecnoacque

	Темп. °C		pH		Проводимост µS/cm²		Твърдост °F	
Проба N°	Непречистена вода	Пречистена вода	Непречистена вода	Пречистена вода	Непречистена вода	Пречистена вода	Непречистена вода	Пречистена вода
1	21	21	7,8	7,9	739	737	37,5	36,5
2	21	21	7,7	7,6	736	738	37,2	36,6
3	21	21	7,8	7,7	732	735	36,5	38,1
4	21	21	7,9	8,1	727	739	36,7	37,2
5	21	21	7,8	7,7	735	735	38,1	38,8
6	21	21	7,6	7,7	737	738	37,2	36,7
7	21	21	7,7	7,8	737	737	38,8	38,1
8	21	21	7,8	7,9	738	736	39,0	38,5
9	22	22	7,7	7,8	735	737	36,8	37,0
10	22	22		8,0	733	736	38,4	38,7
11	22	22	8,0	7,9	735	738	39,5	39,2
12	22	22	7,9	7,8	737	735	38,1	37,9



Фиг. 5
Обща бактериална концентрация на вода, обработена с антиваровиковото устройство Tecnoacque, и на необработена вода при 37°C



Фиг. 6
Ефект на електромагнитното поле върху общата бактериална концентрация в кладенчова вода при 37°C

Заключения

Това изследване е показало способността на устройството Tecnoacque да предотвратява образуването на варовикови отлагания чрез пълното преобразуване на калциевия карбонат в арагонит. Този процес се е осъществявал дори когато обработваната вода е била изключително твърда (до 37°F).

Що се отнася до останалите физикохимични характеристики на водата (температура, pH, електропроводимост), обработката не е предизвикала значителни промени.

Интересен и неочакван резултат е било намаляването с 80–90% на общата бактериална концентрация в обработената вода.

Може да се предположи, както предлагат някои изследователи (Chahal et al., 1993), че електромагнитното поле въздейства върху бактерии, спори, вируси и протозои чрез взаимодействие с тяхната ДНК или РНК, като по този начин възпрепятства тяхното размножаване и следователно растежа им.

Използването на това устройство, освен че предотвратява образуването на наслоявания, би могло също така да ограничи прекомерното развитие на микроорганизми във вътрешността на тръбите.

В заключение може да се твърди, че обработката на вода с електромагнитното антиваровиково устройство Tecnoacque може ефективно да се използва в различни области — не само за вода, използвана в топлообменници (бойлери, климатични системи, термални кондензатори и др.), но също така и за битови и агрохранителни цели.

Cristina Alzetta, Department of Biology, University of Milan Giuliano Bressa, Fabrizio Carmignato, Pasquale Romano Enel Spa-CRAM, Milan

Библиография

Alziati A., Amadosi M., Agnolotti G. F., Beltrami G. and Bonomo L., 1978. In "L'acqua per uso industriale" (Water for Industriai Use). Ed. Angelini Editore, Milano, p. 287.

Chahal R., Craig Q.M. and Pinney R. J., 1993. Investigation of potential genotoxic effects of low frequency electromagnetic fields on Escherichia coli. J. Pharm. Pharmacol. 45:30-33.

Geldreich E. E., Taylor R. H., Blannon J. C. and Reasoner D. J., 1985. Bacterial colonization of point-of-use water treatment device. Journal A. W. W.A. 77: 72-80.

Koubikova H., 1969. Recherches sur les effects du traitment magnetique de l'eau. Trib. Eau 312; 564-567.

Legrand L. and Leroy P., 1981. Les équilibres carboniques et l'équilibre calco-carbonique dans les eaux naturelles. Importance de ces équilibres dans la distribution de l'eau. T.S.M.-L'Eau 8/9: 465-476.

Mechsner K, Fleischmann T, Mason C. A. and Hamer G., 1991. UV disinfection: short term inectivation and revival. Wat.Sci. Tech. 24:339-342.

Meheus J., 1990. Le traitement de l'eau dan les installations domestique. Le traitment domestique de l'eau potable. Trib. Eau 550/2:28-32.

Roques H., 1990. In "Fondements théoriques du traitement chimique des eau.. " Ed. TEC et DOC-Lavoisier, Paris, Vol. 1, p. 330-396.

Standard methods for the analysis ofwater and waste water, 1971. Ed. by American Public Health Assn., 13th Edition, New York, p. 896.

Tricart A., 1990. Le traitement rnagnétique de l'eau. L'eau, l'industrie, les nuisances. 136: 47-48