

OCENA FITOTOKSYCZNOŚCI WODY PODDANEJ DZIAŁANIU POLA MAGNETYCZNEGO

Łukasz Skórkowski¹

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Zakład Wodociągów i Kanalizacji ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, e-mail: lukasz.skorkowski@polsl.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane aspekty teoretyczne magnetycznego kondycjonowania wody oraz obszary zastosowań tej technologii. Zbadano przydatność testów fitotoksyczności do oceny wpływu wody poddanej działaniu pola magnetycznego na rośliny wyższe. Badania obejmowały zarówno hamowanie kiełkowania nasion jak i wzrostu korzenia *lepidium sativum*. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że zaobserwowana inhibicja kiełkowania jak i wzrostu korzenia jest zależna od czasu kontaktu wody z polem magnetycznym.

Słowa kluczowe: magnetyzer, biotesty, toksyczność, badania fitotoksykologiczne, *lepidium sativum*

PHYTOTOXICOLOGICAL ASSESMENT OF MAGNETICALLY TREATED WATER

ABSTRACT

Article presents selected aspects of magnetic water treatment and its areas of implementation. The study evaluated the use of phytotoxicity tests in conjunction with MWT technology. The inhibition of germination of seeds and the root growth of *lepidium sativum* (exposed to magnetically treated water) was tested. The obtained results have shown the connection between germination and root growth inhibition of *lepidium sativum* and exposure time.

Keywords: toxicity, *lepidium sativum*, magnetic water treatment

WPROWADZENIE

Wykorzystanie pola magnetycznego w kondycjonowaniu wody za pomocą urządzeń technicznych datuje się na drugą połowę dziewiętnastego wieku [Kobe i in. 2002]. Zainteresowanie wykorzystaniem pola magnetycznego w kondycjonowaniu wody wzrosło znacząco dopiero po publikacjach wyników badań wpływu zewnętrznego pola magnetycznego na krystalizację niektórych związków zawartych w wodzie [Kobe i in. 2002] w drugiej połowie dwudziestego wieku. Na rynku pojawiły się wtedy nowe konstrukcje komercyjnie dostępnych urządzeń przemysłowych i domowych. W tym czasie pojawiły się także liczne patenty oraz publikacje naukowe dotyczące tej tematyki.

Oddziaływanie pola magnetycznego na wodę jest szerokie i zróżnicowane. W literaturze opisano wiele rodzajów oddziaływań pola magne-

tycznego na wodę i jej składniki. Do najczęściej wymienianych należą:

- wpływ pola na wytrącanie węglanu wapnia [Alimi i in. 2006, Baker i Judd 1996, Biku-l'chus i in. 2003, Brower 2005, Chadwick i Morfett 1998, Ricco i in. 2004],
- wpływ na wytrącanie siarczanu (VI) wapnia [Camper i in. 2003, Chibowski i in. 2003],
- zmiany odczynu pH w czasie [Chu i in. 1997],
- tzw. efekt pamięci magnetycznej [Brower 2005, Cho 2005],
- redukcje napięcia powierzchniowego wody [Brower 2005],
- zmiana tempa korozji stali poddanej działaniu wody kondycjonowanej magnetycznie [Colic i Morse 1999]
- wpływ na osady wodociągowe [Skórkowski 2009, Skórkowski i Raszka 2009]
- wpływ na organizmy żywe [Bondarenko i in. 1999, Goldsworthy i in. 1999].

Dokładny sposób oddziaływania pola magnetycznego na wodę i oddziaływanie kondycjonowanej magnetycznie wody nie został dotąd jednoznacznie zidentyfikowany [Baker i Judd 1996, [Brower 2005, Coey i Cass 2000, Kobe i in. 2002]. Szeroki zakres i złożoność oddziaływań, często sprzeczne ze sobą wyniki badań, nie pozwoliły dotąd na pojedynczej teorii tłumaczącej zachodzące podczas uzdatniania magnetycznego zjawiska, istnieje jednak wiele mechanizmów które tłumaczą obserwowane zjawiska. Zaproponowane teorie można podzielić na cztery kategorie uwzględniające różne propozycje wyjaśnienia zaobserwowanych doświadczalnie oddziaływań [Baker i Judd 1996]: wpływ na oddziaływania wewnątrz cząsteczkowe (np. zmiana konfiguracji elektronowej), wpływ czynników zanieczyszczających (uwolnionych w wyniku działania pola magnetycznego), wpływ na oddziaływania zewnątrz cząsteczkowe (np. zmiany w oddziaływaniach wody z jonami), wpływ na zjawiska zachodzące na granicy faz.

WPŁYW WODY PODANEJ DZIAŁANIU POLA NA ORGANIZMY ŻYWE

Woda poddana działaniu pola magnetycznego wykazuje wpływ na organizmy żywe. Obserwowane efekty odnotowywane są zarówno w stosunku do mikroorganizmów [Goldsworthy i in. 1999], roślin [Bondarenko i in. 1999, Goldsworthy i in. 1999], jak i organizmów zwierzęcych [Krzemieniewski i in. 2004]. W literaturze odnotowano przykłady zarówno pozytywnego, jak i negatywnego wpływu działania wody kondycjonowanej magnetycznie na organizmy żywe. Za przyczynę tej rozbieżności uznaje się stopień uzdatnienia zależny od wartości natężenia pola magnetycznego, jakiego działaniu poddana została woda. Działania pozytywne notowane są dla małych wartości natężeń (do ok. 1 T [Goldsworthy i in. 1999], natomiast dla wysokich wartości notuje się już efekty negatywne [Goldsworthy i in. 1999]. Proponowany mechanizm działania zakłada zwiększenie przepuszczalności błon biologicznych na skutek oddziaływania uzdatnionej wody na cząstki wapnia w błonie komórkowej.

Błony biologiczne stabilizowane są pojedynczą warstwą jonów wapnia związaną z częścią fosforanową podwójnej warstwy fosfolipidowej. Usunięcie lub tymczasowe związanie części jonów (wapnia) doprowadziłoby do zwiększenia

stopnia przepuszczalności błony. Przypuszcza się, iż ta interakcja uzdatnionej wody z wapniem w strukturze błony (komórkowej) przy słabym kondycjonowaniu powoduje niewielki wzrost przepuszczalności błony, czym pozwala na wniknięcie z zewnątrz małych ilości wapnia do komórki, aktywując stymulującą wzrost kaskadę sygnalizacji wapniowej. Silnie uzdatniona woda powoduje uszkodzenie błony, co zakłóca metabolizm komórkowy i hamuje wzrost. Na wpływ wody uzdatnionej magnetycznie najbardziej podatne są organizmy proste. W miarę wzrostu stopnia skomplikowania ta podatność maleje.

W specyficznych układach (szczególnie z cyrkulacją), gdzie obecny jest stale czynnik toksyczny, zwiększona przepuszczalność błon może powodować efekty negatywne i hamować wzrost (poprzez zwiększoną penetrację czynnika do wnętrza komórki). Działanie negatywne odnotowano dla organizmów o niskim stopniu skomplikowania lub we wczesnej fazie rozwoju [Goldsworthy i in. 1999, Krzemieniewski i in. 2004].

KLASYFIKACJA MAGNETYZERÓW

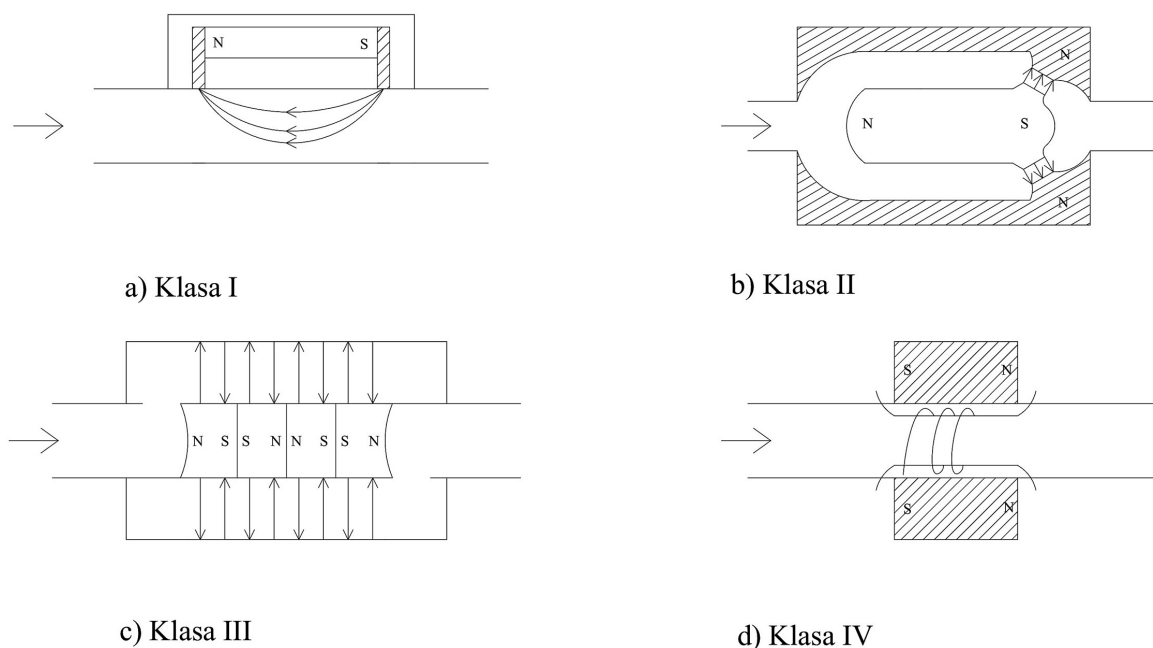
Urządzenia do magnetycznego uzdatniania wody można klasyfikować wg następujących parametrów:

- ze względu na źródło pola magnetycznego na urządzenia ze stałym magnesem oraz z elektromagnesem,
- ze względu na sposób montażu na: montowane w przewodzie (przez wcięcie w rurę) i montowane na przewodzie (bez ingerencji w przewód).

Dla magnetyzerów montowanych w przewodzie opracowano podział wg ich konstrukcji na cztery klasy – rys. 1 [Baker i Judd 1996, Kozic i in. 2001].

Dla klas II i III linie pola są zorientowane w przybliżeniu prostopadle do kierunku przepływu, natomiast konstrukcje klas I i IV cechuje orientacja linii sił pola magnetycznego równoległa do kierunku przepływu. Wymienione klasy urządzeń stanowią bazę wielu wariantów konstrukcji różnych urządzeń dostępnych komercyjnie.

Celem przedstawionych badań było określenie przydatności zastosowania tzw. testów fitotoksyczności, z wykorzystaniem rośliny wskaźnikowej *lepidium sativum*, w ocenie wody poddanej działaniu pola magnetycznego.



Rys. 1. Klasyfikacja magnetyzerów zaproponowana przez Gruber i Carda [Baker i Judd 1996, Kozic i in. 2001]

Fig. 1. Classification of magnetic water treatment devices proposed by Gruber and Carda [Baker i Judd 1996, Kozic i in. 2001]

METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były próbki wody wodociągowej, które zostały poddane działaniu pola magnetycznego w warunkach statycznych. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu rdzenia magnetycznego pochodzącego z urządzenia do magnetycznego kondycjonowania wody RAM (rys. 2). Urządzenie magnetyczne RAM, o konstrukcji zbliżonej do klasy III wg Gruber i Carda, było już uprzednio przedmiotem badań [Skórkowski 2009, Skórkowski i Raszka 2009, Chibowski i in. 2003]. Woda została poddawana

procesowi kondycjonowania w cylindrycznym reaktorze z centralnie umieszczonym rdzeniem. Czas kontaktu wody z polem magnetycznym wynosił 5, 15, 30, 45, 60, 120, 300 i 600 sekund. W trakcie trwania procesu woda była mieszana mechanicznie.

Do oceny wody poddanej działaniu pola magnetycznego zastosowano tzw. test toksyczności dla roślin wyższych oparty o *Lepidium Sativum*. Ocenie poddano stopień kiełkowania nasion oraz inhibicję wzrostu korzeni *Lepidium sativum*. Ocenę dokonano na podstawie zaadoptowanej metody wykonania testu zawartej w Rozporządzeniu



Rys. 2. Urządzenie magnetyczne RAM, rdzeń magnetyczny
Fig. 2. RAM magnetic water treatment device, magnetic core

Ministra Środowiska z dnia 13 maja 2004 DU nr 128 Poz. 1347 oraz ISO 11269–1.

Analiza kiełkowania nasion – Nasiona inkubowano w szklanych płytkach Petriego pokrytych bibułą zwilżoną wodą w temperaturze 25 °C. Liczbę kiełkujących nasion liczono po 24 godzinach kontaktu z próbkami wody kondycjonowanej magnetycznie.

Test inhibicji wzrostu korzenia – Inhibicję wzrostu korzeni badano na wyselekcjonowanych organizmach. Do badań wykorzystano organizmy, które po 24h inkubacji na płytkach zwilżonych wodą zdemineralizowaną cechowały się korzeniem o długości ok 1 mm. Liczebność próby wynosiła 25 szt., testy wykonywano w czterech powtórzeniach. Próbkę inkubowano przez okres 72 h. Po zakończeniu inkubacji wykonano zdjęcia próbek aparatem cyfrowym. Korzenie mierzono z wykorzystaniem programu do analizy obrazu (ImageJ 1.51h, National Institutes of Health, USA).

Wyniki badań dla poszczególnych prób odnoszono do próby kontrolnej. Efekt toksyczności został obliczony jako procent inhibicji (I) (odpowiednio kiełkowania lub wzrostu korzenia) za pomocą wzoru:

$$\%I = \frac{100 \times (E_k - E_t)}{E_k} \quad (1)$$

gdzie: E_k – efekt dla próbki kontrolnej,
 E_t – efekt dla próbki testowej.

Jako sposób klasyfikacji fitotoksyczności zastosowano klasyfikację opartą o wielkość zaobserwowanego efektu – Tabela 1 [Dudziak i Werle 2014, Dudziak i Kopańska 2015, Ricco i in. 2004].

Tabela 1. Klasyfikacja fitotoksyczności

Table 1. Toxicity classification system

Efekt %	Klasa toksyczności
<25	nietoksyczna
25–50	niska toksyczność
50,1–75	toksyczna
75,1–100	wysoka toksyczność

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wyniki badań hamowania kiełkowania nasion zostały przedstawione w tabeli 2. Wyniki testów kiełkowania dla wody poddanej działaniu pola magnetycznego odniesiono do próby kontrolnej. Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcie próby kontrolnej po 24 h inkubacji w temperaturze 25 °C. Wyniki badań inhibicji kiełkowania nasion wskazują na niewielką stymulację dla krótkiego czasu kontaktu (5 s) oraz nieznaczne hamowanie kiełkowania wraz ze wzrostem czasu kontaktu wody z polem magnetycznym. Odnosząc otrzymane wyniki do systemu klasyfikacji toksyczności (Tabela 1) należy jednak zauważyć, iż wszystkie otrzymane wyniki są mniejsze od 25% co oznacza charakter nietoksyczny próbek.

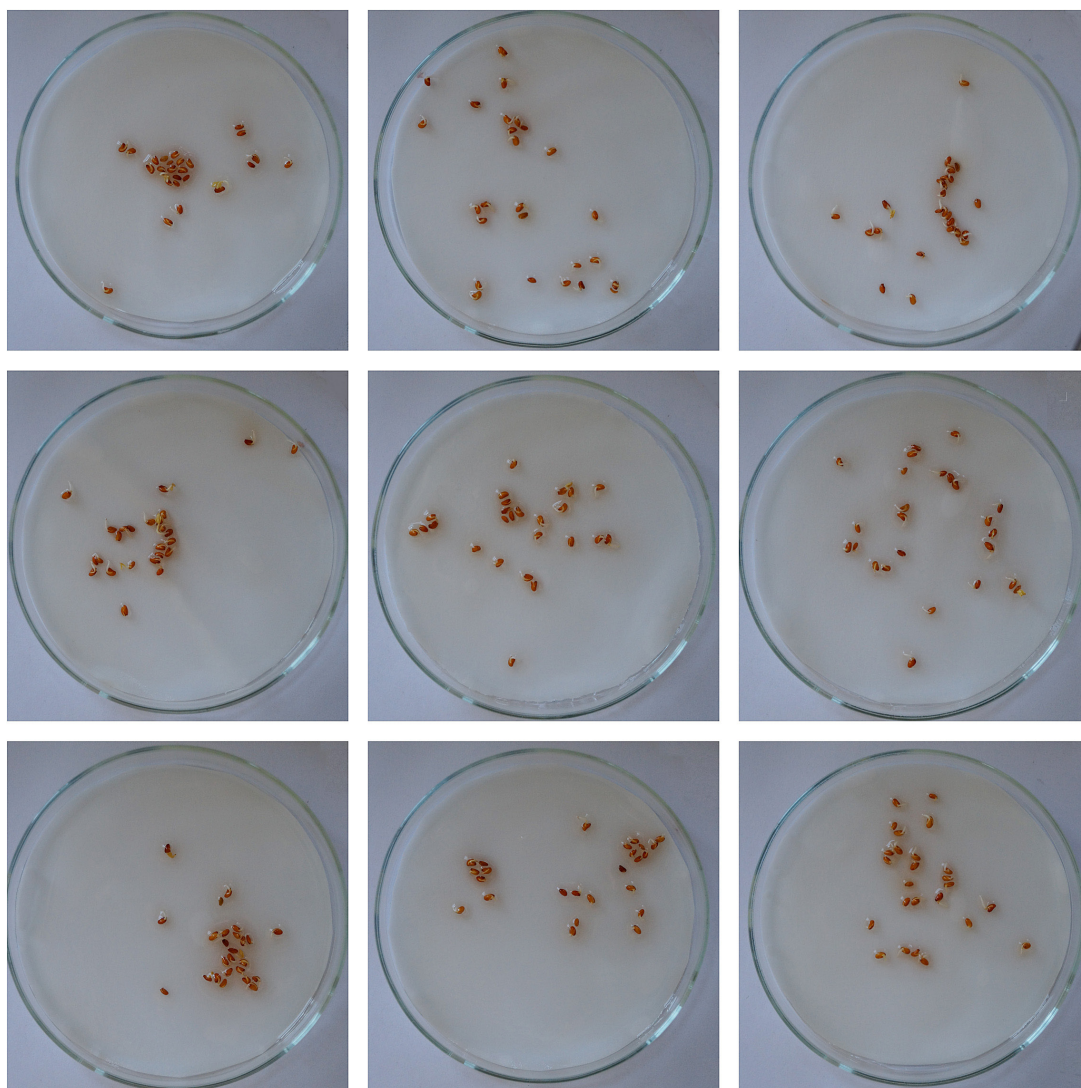
Wyniki badań hamowania wzrostu korzenia przedstawiono na wykresie na rysunku 4. Wyniki hamowania dla wody poddanej działaniu pola magnetycznego odniesiono do próby kontrolnej. Na rysunku przedstawiono badane próbki rośliny *Lepidium Sativum* po 72 h inkubacji dla pojedynczej serii.

Wyniki badań inhibicji wzrostu korzenia wskazują na stymulację wzrostu korzenia dla krótkich czasów kontaktu (5, 15, 30 s) oraz wzrost fitotoksyczności wraz ze wzrostem czasu kontaktu wody z polem magnetycznym. Próbkę inkubowaną w wodzie poddanej działaniu pola przy czasie kontaktu 60, 120 wykazują niewielkie hamowanie. Wraz z wydłużeniem czasu kontaktu wzrasta procent inhibicji, próbki dla czasu 300 i 600 s wykazują wartości hamowania w przedziale 20–30%. Odnosząc otrzymane wyniki do systemu klasyfikacji toksyczności (tabela 1) należy zauważyć, iż dla czasów kontaktu 5–120 s, próbki mają charakter nietoksyczny, natomiast przy wydłużonym czasie kontaktu wody z polem magnetycznym wykazują już niską toksyczność.

Tabela 2. Ocena stopnia kiełkowania nasion pod wpływem wody poddanej działaniu pola magnetycznego

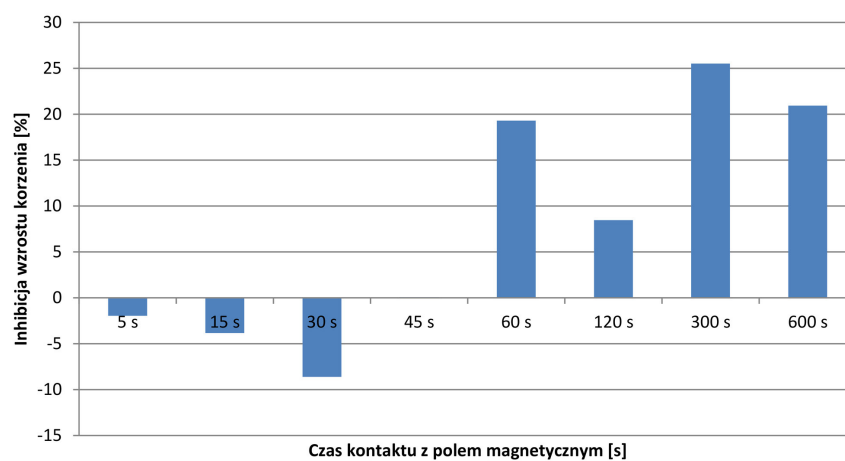
Table 2. Evaluation of the germination of seeds exposed to magnetically treated water

Wyszczególnienie	Próbka kontrolna	Czas kontaktu wody z polem							
		5 s	15 s	30 s	45 s	60 s	120 s	300 s	600 s
Liczba wykiełkowanych nasion	24	25	23	23	23	22	22	21	23
Procent inhibicji	–	–4 %	4 %	4 %	4 %	8 %	8 %	13 %	4 %

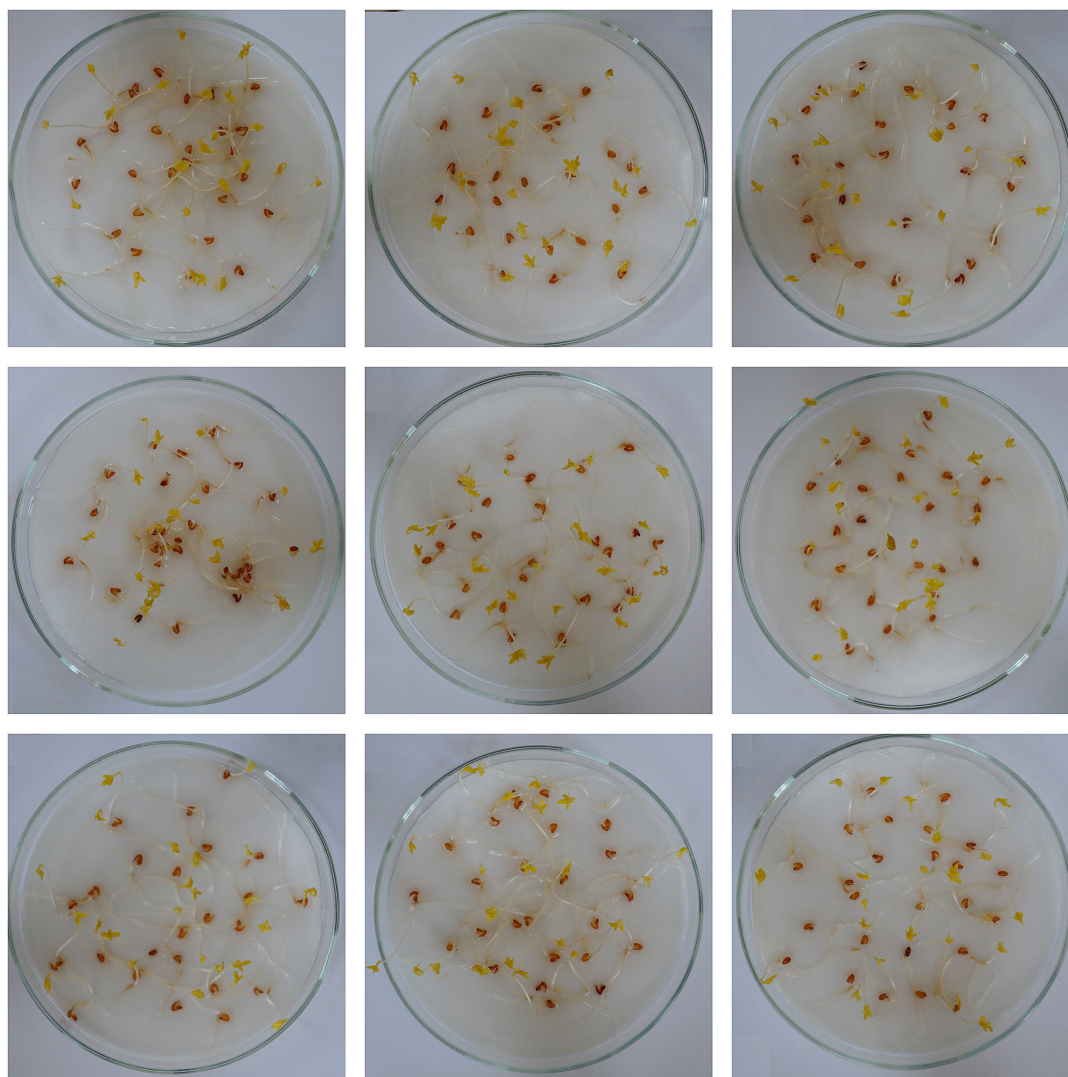


Rys. 3. Test inhibicji kiełkowania nasion, pojedyncza seria, inkubacja 24 h, w kolejności od próbki kontrolnej do czasu kontaktu 600 s

Fig. 3. Germination of *Lepidium sativum* seeds after 24 h, sample series, in order from control sample to 600 s contact time



Rys. 4. Wynik testu inhibicji wzrostu korzenia
Fig. 4. Results of the root growth inhibition test



Rys. 5. Test inhibicji wzrostu korzeni, pojedyncza seria, inkubacja 72 h, w kolejności od próbki kontrolnej do czasu kontaktu 600 s

Fig. 5. Root growth inhibition test after 72 h, sample series, in order from control sample to 600 s contact time

PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono: przydatność testu hamowania wzrostu korzenia z wykorzystaniem *lepidium sativum* w ocenie wód poddanych działaniu pola magnetycznego; procent inhibicji kiełkowania nasion jak i wzrostu korzenia jest zależny czasu kontaktu wody z polem magnetycznym; dla krótkiego czasu kontaktu wody z polem magnetycznym odnotowano stymulację wzrostu korzenia organizmu wskaźnikowego; analiza wzrostu korzenia wydaje się być wskaźnikiem, który pozwala precyzyjniej określać wpływ wody poddanej działaniu pola magnetycznego na organizm testowy w stosunku do analizy kiełkowania.

BIBLIOGRAFIA

1. Alimi F., Tlili M., Amor M.B., Gabrielli C., Maurin G.: Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation, *Desalination* Vol. 206, Feb 2006, 163–168.
2. Baker J.S., Judd S.J.: Magnetic amelioration of scale formation, *Water Research* Vol. 30, No. 2, 1996, 247–260.
3. Bikul'chys G., Ruchinskene A., Deninis V.: Corrosion Behavior of Low-Carbon Steel in Tap Water Treated with Permanent Magnetic Field, *Protection of Metals*, Vol. 39, No. 5, pp. 443–447, 2003, Translated from *Zashchita Metallov*, Vol. 39, No. 5, 2003, 492–496.
4. Bondarenko N. PH., Gak E.Z., Rokhinson E.E., Ananyev I.P., Bogatin J.: Magnetic Treatment of

- Irrigation Water: Experimental Results and Application Conditions, Environmental Science & Technology Vol. 33, American Chemical Society, 1999, 1280–1285.
5. Brower J.: Magnetic Water Treatment, Pollution Engineering, No. 2, Feb 2005, 26–28.
6. Busch K.W., Busch M.A.: Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction, Desalination Vol. 109, No. 2, May 1997, 131–148.
7. Camper A.K., Brastrup K., Sandvig A., Clement J., Spencer C., Capuzzi A.J.: Effect of distribution system materials on bacterial regrowth, Journal American Water Works Association, No. 7, Jul 2003, 107–121.
8. Chadwick A., Morfett J.C.: Hydraulics in Civil and Environmental Engineering, Taylor & Francis, London, New York 1998.
9. Chibowski E., Hołysz L., Szcześ A.: Adhesion of in situ precipitated calcium carbonate in the presence and absence of magnetic field in quiescent conditions on different solid surfaces, Water Research Vol. 37, 2003, 4685–4692.
10. Chibowski E., Hołysz L., Szcześ A.: Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate, Water Research Vol. 37, 2003, 3351–3360.
11. Cho Y.I., Lane J., Kim W.: Pulsed-power treatment for physical water treatment, International communications in heat and mass transfer Vol. 32, No. 7, 2005, 861–871.
12. Chu C.P., Lee D.J.: Effect of pre-hydrolysis on floc structure, Journal of Environmental Management Vol. 71, 1997, 285–292.
13. Coey J.M.D., Cass S.: Magnetic water treatment, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 209, 2000, 71–74.
14. Colic M., Morse D.L.: The elusive mechanism of the magnetic ‘memory’ of water, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects Vol. 154, 1999, 167–174.
15. Dudziak M., Werle S.: Dobór warunków analizy toksyczności osadów ściekowych oraz produktów ich zgazowania, Proceedings of ECOpole 2014, 2014, 645–650.
16. Dudziak M., Kopańska D.: Application of the microtox system to assess the toxicity of made grounds, The Journal Architecture – Civil Engineering – Environment – ACEE, Vol. 3 2015, The Silesian University of Technology, Gliwice 2015.
17. Goldsworthy A., Whitney H., Morris E.: Biological effects of physically conditioned water, Water Research Vol. 33, No. 7, 1999, 1618–1626.
18. Kobe S., Drazic G., Cefalas A.C., Sarantopoulou E., Strazisar J.: Nucleation and crystallization of CaCO₃ in applied magnetic fields, Crystal Engineering 5, 2002, 243–253.
19. Krzemieniewski M., Teodorowicz M., Debowski M., Pesta J.: Effect of a constant magnetic field on water quality and rearing of European sheatfish *Silurus glanis* L. larvae, Aquaculture Research, Vol. 35, 2004, 568–573.
20. Parsons S.A., Wang B-L., Judd S.J., Stephenson T.: Magnetic treatment of calcium carbonate scale – effect of pH control, Water Research Vol. 31, No. 2, 1996, 339–342.
21. Ricco G., Tomei C.M., Ramadori R., Laera G.: Toxicity assessment of common xenobiotic compounds on municipal activated sludge: comparison between respirometry and Microtox, Water Research Vol. 38, 2004, 2103–2110.
22. Skórkowski Ł.: Badania porównawcze urządzeń zabezpieczających stalowe przewody wodociągowe przed inkrustacją osadami, Instalacje Wodociągowe i Kanalizacyjne – Projektowanie – Wykonawstwo – Eksploatacja, III Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa-Dębe, 21–22 Maj 2009.
23. Skórkowski Ł.: Experimental study of anti-scale devices efficiency, The Journal Architecture – Civil Engineering – Environment – ACEE, Vol. 3 2009, The Silesian University of Technology, Gliwice 2009.
24. Skórkowski Ł., Raszka A.: Zmiana obrazu mikroskopowego osadów wodociągowych pod wpływem działania pola magnetycznego, Instal No. 10 2009, Ośrodek Informacji Technika instalacyjna w budownictwie, Warszawa 2009.