

Marcel Meggeneder, Janusz Łomotowski, Paweł Wiercik

Badania nad zastosowaniem chlorosiarczanu żelaza(III) do oczyszczania popłuczyn z filtrów do odżelaziania i odmanganiania wody

Popłuczyny są specyficznym rodzajem odpadów powstających podczas płukania złożeń filtracyjnych w zakładach wodociągowych. W przypadku dużych zakładów oczyszczania wody ilość popłuczyn może wynosić od kilku do kilkunastu tysięcy m³/d [1, 2]. Zużycie wody do płukania złożeń filtracyjnych nie powinno przekraczać 5% ilości wody oczyszczonej. Większe ilości świadczą na ogół o niewłaściwej pracy stacji filtrów [3, 4].

Skład chemiczny popłuczyn zależy od rodzaju i jakości ujmowanej wody, rozwiązań technologicznych, zastosowanych reagentów oraz sprawności technologicznej urządzeń. Popłuczyny powstające podczas płukania złożeń filtracyjnych stosowanych do odżelaziania i odmanganiania wody charakteryzują się na ogół jednorodnym i stabilnym składem chemicznym, a przede wszystkim dużą ilością zawieszin opadających, których głównym składnikiem są uwodnione tlenki żelaza i manganu [5]. Najczęściej popłuczyny poddaje się oczyszczaniu w odstojnikach, po czym odprowadza do wód powierzchniowych lub kanalizacji. Poprawę stopnia oczyszczania popłuczyn w odstojnikach uzyskuje się przez zastosowanie procesu koagulacji [6–8] lub napowietrzania [5]. Prowadzono także badania nad zastosowaniem procesów membranowych do usuwania zawieszin z popłuczyn [9–12]. Wytrącone z popłuczyn osady żelazowo-manganowe można wykorzystać do wspomagania chemicznego usuwania fosforu ze ścieków [13] oraz do zmniejszenia emisji siarkowodoru w kanalizacji ciśnieniowej [14].

Metodyka badań

Badania przeprowadzone w 2010 r. w skali półtechnicznej w zakładzie wodociągowym na terenie Niemiec (Wasserwerk Langenberg) miały na celu określenie wytycznych technologicznych na potrzeby modernizowanego układu oczyszczania popłuczyn powstających w tym obiekcie.

Dr.-Ing. M. Meggeneder: Trinkwasserverband Verden, Weserstraße 9a, 27283 Verden (Aller), Deutschland; Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Welfengarten 1, 30167 Hannover, Deutschland, marcel.meggeneder@tv-verden.de

Prof. dr hab. inż. J. Łomotowski: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Zakład Infrastruktury i Techniki Sanitarnej, pl. Grunwaldzki 24, 50–363 Wrocław; Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25–314 Kielce, janusz.lomotowski@gmail.com

Mgr inż. P. Wiercik: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Zakład Infrastruktury i Techniki Sanitarnej, pl. Grunwaldzki 24, 50–363 Wrocław pawel.wiercik@up.wroc.pl

Średnia wydajność zakładu wynosi ok. 6,5 tys. m³/d. Ujmowana woda podziemna oczyszczana jest w układzie złożonym z napowietrzania ciśnieniowego, otwartego zbiornika reakcji oraz filtracji dwustopniowej. Złożeń filtrów pierwszego stopnia (odżelazianie wody) płukane są co 2–3 doby, natomiast złożeń filtrów drugiego stopnia (odmanganianie wody) co 3–4 tygodnie. Złożeń filtrów płukane są wodą i powietrzem. Ilość wody zużytej do płukania wyniosła średnio w 2009 r. 2,19% dobowej ilości wody wtłoczonej do sieci.

Badania przeprowadzono w czterech 200-litrowych zbiornikach. Popłuczyny do badań pobrano ze studzienki rewizyjnej przy pomocy pompy. Program przeprowadzonych doświadczeń (tab. 1) obejmował badania sedymentacji zawieszin w popłuczynach bez dodatkowych zabiegów technologicznych, a także określenie wpływu dawki chlorosiarczanu żelaza(III), napowietrzania popłuczyn oraz oddziaływania wytrąconych osadów na jakość popłuczyn zdekantowanych w warunkach modelowych po określonym czasie sedymentacji.

Po 1 h, 3 h, 10 h, 24 h i 48 h pobrano próbki zdekantowanych popłuczyn, w których oznaczono mętność, pH oraz zawartość związków żelaza i manganu. Popłuczyny w czasie badań charakteryzowały się mętnością 850±1570 NTU, a zawartość żelaza ogólnego wynosiła 150±290 gFe/m³, przy czym zawartość żelaza(II) nie przekraczała 5% żelaza ogólnego. Zawartość manganu w popłuczynach w czasie badań mieściła się w przedziale 0,18±0,3 gMn/m³.

W oparciu o uzyskane wyniki zmian mętności i zawartości żelaza w czasie sedymentacji poszukiwano, z wykorzystaniem programu STATISTICA 9.1, stałej szybkości zmniejszania się wartości tych wskaźników jakości popłuczyn w równaniu reakcji pierwszego rzędu:

$$c(t) = a \exp(-kt) \quad (1)$$

w którym:

a – początkowa mętność popłuczyn, NTU lub początkowa zawartość żelaza, gFe/m³

k – stała szybkości zmniejszania mętności lub zawartości żelaza w popłuczynach, 1/h

t – czas sedymentacji, h

Wyniki badań

W tabelach 2 i 3 zestawiono wartości stałej szybkości zmniejszania mętności popłuczyn i zawartości żelaza w poszczególnych doświadczeniach, natomiast w tabeli 4 zestawiono wartości mętności popłuczyn oraz zawartości żelaza po 24 h sedymentacji.

Tabela 1. Program badań nad oczyszczaniem popłuczyn
Table 1. Plan of research on the treatment of filter backwash water

| Nr doświadczenia | Nr zbiornika | | | |
|---|--------------|--|--|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pierwsza seria (zbiornik 2 z warstwą osadu, zbiornik 4 bez osadu) | | | | |
| 1 | – | napow. 1 h, 8gFeClSO ₄ /m ³ | 8gFeClSO ₄ /m ³ | napow. 1 h, 8gFeClSO ₄ /m ³ |
| 2 | – | napow. 1 h, 16gFeClSO ₄ /m ³ | 16gFeClSO ₄ /m ³ | napow. 1 h, 16gFeClSO ₄ /m ³ |
| 3 | – | napow. 1 h, 24gFeClSO ₄ /m ³ | 24gFeClSO ₄ /m ³ | napow. 1 h, 24gFeClSO ₄ /m ³ |
| 4 | – | napow. 1 h, 32gFeClSO ₄ /m ³ | 32gFeClSO ₄ /m ³ | napow. 1 h, 32gFeClSO ₄ /m ³ |
| 5 | – | napow. 1 h, 40gFeClSO ₄ /m ³ | 40gFeClSO ₄ /m ³ | napow. 1 h, 40gFeClSO ₄ /m ³ |
| Druga seria (zbiorniki 2 i 4 z warstwą osadu) | | | | |
| 6 | – | napow. 1 h, 4gFeClSO ₄ /m ³ | 4gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 7 | – | napow. 1 h, 8gFeClSO ₄ /m ³ | 8gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 8 | – | napow. 1 h, 12gFeClSO ₄ /m ³ | 12gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 9 | – | napow. 1 h, 16gFeClSO ₄ /m ³ | 16gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 10 | – | napow. 1 h, 20gFeClSO ₄ /m ³ | 20gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| Trzecia seria (zbiorniki 2 i 4 bez osadu) | | | | |
| 11 | – | napow. 1 h, 4gFeClSO ₄ /m ³ | 4gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 12 | – | napow. 1 h, 8gFeClSO ₄ /m ³ | 8gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |
| 13 | – | napow. 1 h, 12gFeClSO ₄ /m ³ | 12gFeClSO ₄ /m ³ | napowietrzanie przez 1 h |

Tabela 2. Wartości stałej szybkości zmniejszania mętności popłuczyn
Table 2. Rate constant of decrease in turbidity of filter backwash water

| Nr doświadczenia | Stała szybkości zmniejszania mętności popłuczyn, 1/h | | | |
|--|--|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pierwsza seria: 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po koagulacji z napowietrzaniem przez 1 h | | | | |
| 1 | 1,044 | 3,530 | 1,697 | 3,802 |
| 2 | 1,264 | 2,429 | 2,078 | 2,795 |
| 3 | 1,623 | 2,412 | 2,231 | 2,347 |
| 4 | 1,830 | 2,434 | 2,195 | 2,110 |
| 5 | 1,914 | 2,255 | 2,039 | 1,923 |
| Druga seria : 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu | | | | |
| 6 | 2,075 | 1,902 | 2,318 | 1,474 |
| 7 | 1,727 | 1,809 | 2,332 | 1,667 |
| 8 | 1,851 | 2,010 | 2,690 | 1,126 |
| 9 | 1,754 | 2,609 | 2,489 | 0,813 |
| 10 | 1,963 | 2,688 | 2,211 | 0,693 |
| Trzecia seria: 1– sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h | | | | |
| 11 | 1,976 | 1,620 | 2,086 | 1,518 |
| 12 | 1,827 | 1,693 | 2,040 | 1,259 |
| 13 | 0,578 | 2,036 | 1,414 | 1,087 |

Tabela 3. Wartości stałej szybkości zmniejszania zawartości żelaza w popłuczynach
Table 3. Rate constant of decrease in total iron content of filter backwash water

| Nr doświadczenia | Stała szybkości zmniejszania zawartości żelaza w popłuczynach, 1/h | | | |
|--|--|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pierwsza seria: 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po koagulacji z napowietrzaniem przez 1 h | | | | |
| 1 | 1,509 | 1,871 | 3,793 | 4,141 |
| 2 | 1,916 | 2,849 | 2,852 | 3,386 |
| 3 | 2,541 | 2,605 | 3,107 | 1,976 |
| 4 | 2,105 | 2,008 | 2,647 | 1,988 |
| 5 | 2,605 | 2,461 | 3,060 | 1,469 |
| Druga seria : 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu | | | | |
| 6 | 2,844 | 1,965 | 2,966 | 0,792 |
| 7 | 2,358 | 1,967 | 2,850 | 2,169 |
| 8 | 2,537 | 2,469 | 3,143 | 1,743 |
| 9 | 2,633 | 3,226 | 2,955 | 1,192 |
| 10 | 2,477 | 3,355 | 2,889 | 1,498 |
| Trzecia seria: 1– sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h | | | | |
| 11 | 2,672 | 1,781 | 2,639 | 2,672 |
| 12 | 2,903 | 2,441 | 2,689 | 2,903 |
| 13 | 1,565 | 2,663 | 1,924 | 1,565 |

Tabela 4. Mętność popłuczyn i zawartość żelaza po 24-godz. sedymentacji
Table 4. Turbidity and total iron content of filter backwash water after 24 hours of sedimentation

| Nr doświadczenia | Mętność, NTU | | | | Żelazo ogólne, gFe/m ³ | | | |
|--|--------------|-------|-------|-------|-----------------------------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pierwsza seria: 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po koagulacji z napowietrzaniem przez 1 h | | | | | | | | |
| 1 | 13,96 | 2,31 | 2,65 | 3,87 | 0,78 | 0,17 | 0,29 | 0,16 |
| 2 | 8,71 | 2,63 | 1,53 | 1,65 | 0,67 | 0,28 | 0,16 | 0,16 |
| 3 | 7,16 | 2,39 | 0,45 | 0,91 | 0,64 | 0,20 | 0,11 | 0,15 |
| 4 | 10,11 | 3,73 | 1,77 | 3,03 | 0,74 | 0,65 | 0,50 | 0,59 |
| 5 | 7,52 | 4,82 | 2,18 | 2,11 | 0,57 | 1,05 | 1,02 | 0,93 |
| Druga seria : 1 – sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h z dodatkową warstwą osadu | | | | | | | | |
| 6 | 6,06 | 10,63 | 2,92 | 15,22 | 0,42 | 0,77 | 0,34 | 1,13 |
| 7 | 11,73 | 7,25 | 12,12 | 16,08 | 0,79 | 0,54 | 0,20 | 1,16 |
| 8 | 9,49 | 6,86 | 1,50 | 21,59 | 0,74 | 0,49 | 0,22 | 1,46 |
| 9 | 7,62 | 2,37 | 1,00 | 18,86 | 0,48 | 0,22 | 0,14 | 1,45 |
| 10 | 6,46 | 3,17 | 1,08 | 13,17 | 0,42 | 0,18 | 0,12 | 1,00 |
| Trzecia seria: 1– sedymentacja zawiesin, 2 – sedymentacja po koagulacji i napowietrzaniu przez 1 h, 3 – sedymentacja po koagulacji, 4 – sedymentacja po napowietrzaniu przez 1 h | | | | | | | | |
| 11 | 19,92 | 14,57 | 7,41 | 29,45 | 0,94 | 1,18 | 0,61 | 1,81 |
| 12 | 19,18 | 14,64 | 7,92 | 30,11 | 5,30 | 2,40 | 1,10 | 2,60 |
| 13 | 10,17 | 11,78 | 6,53 | 19,25 | 0,62 | 1,14 | 0,46 | 1,19 |

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że najmniejszą skuteczność oczyszczania popłuczyn uzyskano w samym procesie sedymentacji. Popłuczyny jedynie po 24 h sedymentacji charakteryzowały się dużą mętnością i podwyższoną zawartością związków żelaza. Najlepszą skuteczność oczyszczania popłuczyn osiągnięto podczas jednoczesnego dawkowania koagulantu oraz napowietrzania popłuczyn, bez pozostawiania osadu na dnie zbiornika. Ustalono, że w warunkach zakładu wodociągowego, w którym przeprowadzono badania, optymalna dawka chlorosiarczanu żelaza(III) wynosiła $8 \text{ gFeClSO}_4/\text{m}^3$. Wykazano również, że napowietrzanie popłuczyn w obecności chlorosiarczanu żelaza(III) zwiększyło szybkość wytrącania związków żelaza z popłuczyn w początkowej fazie sedymentacji. Po 24 h sedymentacji stopień oczyszczania popłuczyn, przy zastosowaniu napowietrzania i bez, był porównywalny. Pozostawienie w zbiorniku wytrąconego osadu wpłynęło na zmniejszenie skuteczności oczyszczania popłuczyn po 24 h sedymentacji.

Wnioski

♦ Powszechnie stosowany w Polsce sposób oczyszczania popłuczyn powstających podczas płukania złóż filtrów do odżelaziania i odmanganiania wody, polegający na sedymentacji zawiesin w odstojnikach z pozostawieniem w nich wytrąconych osadów, charakteryzuje się małą sprawnością technologiczną. Zwiększenie skuteczności oczyszczania popłuczyn można uzyskać przez zastosowanie koagulacji chlorosiarczanem żelaza(III).

♦ Przyspieszenie procesu wytrącania zawiesin po koagulacji można uzyskać przez okresowe napowietrzanie popłuczyn po wprowadzeniu koagulantu. Proces ten można realizować w odstojnikach z zastosowaniem iniektorów. Wprowadzenie koagulacji popłuczyn i ich okresowego napowietrzania pozwala na zmniejszenie kubatury odstojników.

♦ Mętność popłuczyn po koagulacji chlorosiarczanem żelaza(III) i 24-godz. sedymentacji była mniejsza od 12 NTU, a zawartość związków żelaza nie przekraczała $2,4 \text{ gFe}/\text{m}^3$. Taki skład popłuczyn umożliwia ich zwrócenie do układu oczyszczania wody.

♦ W świetle przeprowadzonych badań celowe jest wdrożenie technologii koagulacji popłuczyn w dużych i średnich zakładach oczyszczania wód podziemnych i odzyskiwanie części wód popłucznych do celów technologicznych.

LITERATURA

1. B. FALKUS, A. HANDZLIK, E. POWAŻKA: Biologiczne aspekty oczyszczania wód popłucznych w akcelatorze. *Ochrona Środowiska* 2000, vol. 22, nr 2, ss. 31–33.
2. Ł. FUKAS-PŁONKA, K. KUŚ, E. ZIELEWICZ-MADEJ: Badania nad możliwością odwadniania i usuwania osadów z wód popłucznych. *Ochrona Środowiska* 1999, vol. 21, nr 4, ss. 65–68.
3. DVGW-Arbeitsblatt W 213-3, Juni 2005: Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 3: Schnellfiltration.
4. S. KAWAMURA: Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. Second Edition. John Wiley & Sons Inc., New York 2000.
5. J. ŁOMOTOWSKI, P. WIERCİK: Zastosowanie napowietrzania do poprawy skuteczności sedymentacji zawiesin powstających podczas oczyszczania wód podziemnych. *Ochrona Środowiska* 2009, vol. 31, nr 4, ss. 21–24.
6. A. ADIN, L. DEAN, F. BONNER, A. NASSER, Z. HUBERMAN: Characterization and destabilization of spent filter backwash particles. *Water Science and Technology: Water Supply* 2002, Vol. 2, No. 2, pp. 115–122.
7. H. ARORA, G. DI GIOVANNI, M. LeCHEVALLIER: Spent filter backwash water. Contaminants and treatment strategies. *Journal American Water Works Association* 2001, Vol. 93, No. 5, pp. 100–112.
8. A. FORST, T. JAGOSZEWSKI, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Wpływ chemicznego kondycjonowania popłuczyn powstających podczas oczyszczania wód podziemnych na przebieg ich zagęszczania. *Ochrona Środowiska* 1999, vol. 21, nr 1, ss. 7–11.
9. A. BRÜGGER, K. VOßENKAUL, R. RAUTENBACH, B. GOLLING, U. JACOBS, P. OHLENFORST: Reuse of filter backwash water by implementing ultrafiltration technology. *Water Science and Technology: Water Supply* 2001, Vol. 1, No. 5–6, pp. 207–214.
10. D. VESCOLI, A. GMÜNDER: Schwemmwasseraufbereitung durch Membrantechnik. *Gas, Wasser, Abwasser* 2007, No. 4, S. 263–269.
11. R.J.N. WILLEMSE, Y. BREKVOORT: Full-scale recycling of backwash water from sand filters using dead-end membrane filtration. *Water Research* 1999, Vol. 33, No. 15, pp. 3379–3385.
12. W. ADAMSKI, K. MAJEWSKA-NOWAK: Zastosowanie reaktorów wielofunkcyjnych do oczyszczania wody. *Ochrona Środowiska* 2010, vol. 32, nr 1, ss. 3–8.
13. J. ŁOMOTOWSKI, A. SZPINDOR: Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2002.
14. D. WEISMAN, M. LOHSE [Eds.]: Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik. Biogene Korrosion, Geruch, Gefahr verhindern und Kosten beherrschen. Vulkan Verlag GmbH, Essen 2007.

Meggeneder, M., Łomotowski, J., Wiercik, P. Use of Iron(III) Chloride Sulfate for the Treatment of Filter Backwash Water. *Ochrona Środowiska* 2011, Vol. 33, No. 4, pp. 53–56.

Abstract: The study reported on in this paper was performed in the groundwater treatment plant Wasserwerk Langenberg (Germany) and included pilot plant investigations into the treatment of filter backwash water. To support sedimentation of suspended solids in the filter backwash water, use was made of Fe(III) chloride sulfate as a coagulant. The experiments were conducted to determine the influence of aeration and Fe(III) chloride sulfate on the composition of the filter backwash water after sedimentation in

a settling tank over a period of 1 to 48 h. The results show that under these conditions filter backwash water should be treated using Fe(III) chloride sulfate doses ranging from 8 to $16 \text{ gFeClSO}_4/\text{m}^3$, with simultaneous 1-hour aeration upon coagulant addition. The study has produced the following finding: When use is made of Fe(III) chloride sulfate as coagulant, the backwash water streams from the rinsing of filter beds designed for iron and manganese removal from groundwater can be treated with such efficiency that permits their recirculation to the treatment train, or their reuse as technological water.

Keywords: Filter backwash water, water treatment, iron removal, iron(III) chloride sulfate.