

Henryk Dera

Dezynfekcja wód podziemnych promieniami UV na przykładzie MPWiK w Oświęcimiu

Dezynfekcja wody do picia promieniami ultrafioletowymi wytworzonymi w lampach UV może być alternatywą dezynfekcji chlorem, który od ponad 60 lat jest najbardziej popularnym środkiem dezynfekcyjnym w praktyce wodociągowej. Badania naukowe wykazały, że chlor stosowany w technologii uzdatniania wody do picia jest szkodliwy dla zdrowia z uwagi na powstające w wodzie uboczne produkty chlorowania. Spowodowało to rozwój innych, alternatywnych technologii i urządzeń do dezynfekcji wody. Do najpopularniejszych z nich można zaliczyć dwutlenek chloru i techniki UV. Techniki UV do dezynfekcji wody do picia wprowadzono w Europie w latach 70., początkowo w Szwajcarii, Austrii, Niemczech i innych rozwiniętych krajach. Przykładem może być Holandia, gdzie w roku 1995 ponad 90% wody do picia było już dezynfekowane promieniami UV, eliminując chlor.

W wodociągach miejskich w Oświęcimiu, w dwóch stacjach wodociągowych „Zasole” i „Zaborze”, także wyeliminowano chlor z dezynfekcji wody. W roku 1994 w stacji „Zasole” chlor gazowy zastąpiono dwutlenkiem chloru [1], a w grudniu 1995 roku w stacji „Zaborze” podchloryn sodu zastąpiono promieniami UV. Obie stacje wodociągowe dostarczają wodę do wspólnej sieci o długości 425 km, z której korzysta około 60 tys. mieszkańców miasta i gminy Oświęcim.

Dezynfekcja wody promieniami UV

Dezynfekcja wody do picia poprzez jej naświetlanie promieniami UV jest procesem fizycznym, prowadzonym bez udziału środków chemicznych. UV jest promieniowaniem elektromagnetycznym o dużej energii, występującym w naturalnym widmie promieniowania słonecznego. Sztuczne promienie UV znalazły zastosowanie w dezynfekcji wody w latach dwudziestych [2].

Źródłem sztucznego promieniowania UV są specjalnej konstrukcji kwarcowe lampy rtęciowe, które emitują promienie UV o długości fali od 100 do 400 nm. Są to promienie niewidzialne, składające się z trzech przedziałów UV-A, UV-B i UV-C. Przedział UV-C, o długości fal od 100 do 280 nm, oddziałuje bakteriobójczo na drobnoustroje. Maksymalne oddziaływanie na drobnoustroje wykazują fale UV o długości 265 nm, pod wpływem których niszczeniu ulegają struktury DNA, białka, tłuszcze i enzymy mikroorganizmów. Drobnoustroje mają różną oporność na działanie promieniowania UV.

Do określenia skutecznego działania dezynfekcyjnego stosuje się pojęcie dawki UV wg wzoru [3]:

$$D = E \cdot t \quad (1)$$

w którym:

D – dawka, mJ/cm^2

E – natężenie promieniowania, mW/cm^2

t – czas naświetlania, s

W dezynfekcji wody do picia przyjmuje się dawki promieniowania UV na poziomie $25 \text{ mJ}/\text{cm}^2$. Badania i doświadczenia prowadzone w ostatnim okresie wykazały, że optymalna dawka promieniowania wynosi $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ [4].

Zasadniczym parametrem wody jest jej przepuszczalność dla promieni UV przy długości fali 254 nm, tzw. transmisja, wyrażona w procentach i odniesiona do grubości warstwy wody. Znając wartość transmisji można dokładnie dobrać lampę UV, zapewniając dezynfekcję wody na poziomie 99,9%.

Do dezynfekcji wody produkowane są dwa rodzaje lamp UV:

– lampy niskociśnieniowe (*low pressure* – LP) o małej mocy 30+150 W i wydajności do $150 \text{ m}^3/\text{h}$ dezynfekowanej wody,

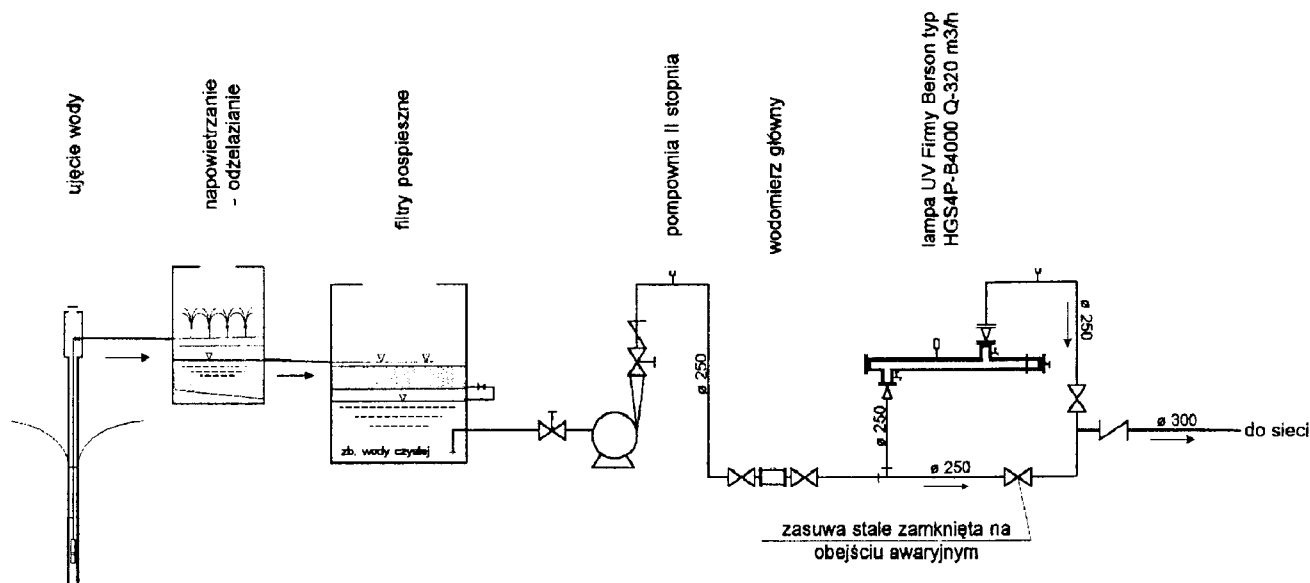
– lampy średniociśnieniowe (*medium pressure* – MP) o dużej mocy 2000 oraz 4000 W i wydajności 120+ 3000 m^3/h .

Z publikacji i informacji technicznych wynika, że w Polsce wyprodukowano i zainstalowano ponad tysiąc urządzeń UV o wydajności od 5 do $10 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz kilka o wydajności do $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Zagraniczne firmy zainstalowały również kilka małych i średnich lamp UV.

Użytkownikami lamp UV są najczęściej wytwórnie wód gazowanych, ujęcia wody dla uzdrowisk, sanatoriów, małe wodociągi wiejskie, a w roku 1997 zabudowano lampę UV firmy Berson do dezynfekcji wody z zakopiańskiego potoku, używanej do produkcji sztucznego śniegu na Gubałowie [5].

Charakterystyka stacji wodociągowej „Zaborze”

Stacja wodociągowa „Zaborze” ma ujęcia wody podziemnej składające się z 11 studni wierconych $\phi 400 \text{ mm}$ o głębokości od 10 do 27 m. Warstwę wodonośną stanowią żwiry piaszczyste o miąższości od 4 do 14 m (czwartorzęd). Sumaryczna wydajność studni wynosi $Q_{\text{sr}}=6 \text{ tys. m}^3/\text{d}$ oraz $Q_{\text{max}}=7,5 \text{ tys. m}^3/\text{d}$. Pod względem fizyczno-chemicznym woda z tego ujęcia charakteryzuje się nadmierną zawartością związków żelaza, manganu, siarkowodoru i agresywnego CO_2 , które wynoszą odpowiednio: $10 \text{ gFe}/\text{m}^3$, $0,8 \text{ gMn}/\text{m}^3$, $1,2 \text{ gH}_2\text{S}/\text{m}^3$ i $45 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$. Pod względem bakteriologicznym woda surowa wykazuje niewielki (zmienny) stopień zanieczyszczenia (ogólna liczba kolonii bakterii w 1 cm^3 wody – 100, wskaźnik *coli* typu fekalnego – 30).



Rys. 1. Schemat technologiczny stacji wodociągowej „Zaborze” w Oświęcimiu

Proces uzdatniania wody polega na napowietrzaniu, sedymentacji, filtracji i dezynfekcji (rys. 1). Napowietrzanie, sedymentacja i filtracja odbywa się w urządzeniach otwartych. Woda uzdatniona do grudnia 1995 r. była dezynfekowana podchlorynem sodu przy użyciu chloratora C52 produkcji PoWoGaz.

W procesie uzdatniania otrzymuje się wodę do picia o bardzo dobrych parametrach jakościowych, zarówno pod względem fizyczno-chemicznym jak i bakteriologicznym, nie kwestionowaną przez władze sanitarne. W procesie dezynfekcji problem stanowił podchloryn sodu, który już w niewielkich dawkach powodował powstawanie wyczuwalnego, specyficznego smaku i zapachu chloru w wodzie do picia. W celu poprawienia smaku i zapachu wody podjęto decyzję o zmianie technologii jej dezynfekcji, eliminując metodę chemiczną na rzecz procesu fizycznego, tj. techniki UV. Przeprowadzona analiza wykazała, że woda uzdatniona w stacji „Zaborze” ma odpowiednie parametry fizyczno-chemiczne (barwa, mętność i stężenie zawiesin) i bakteriologiczne, pozwalające na zastosowanie techniki UV do dezynfekcji.

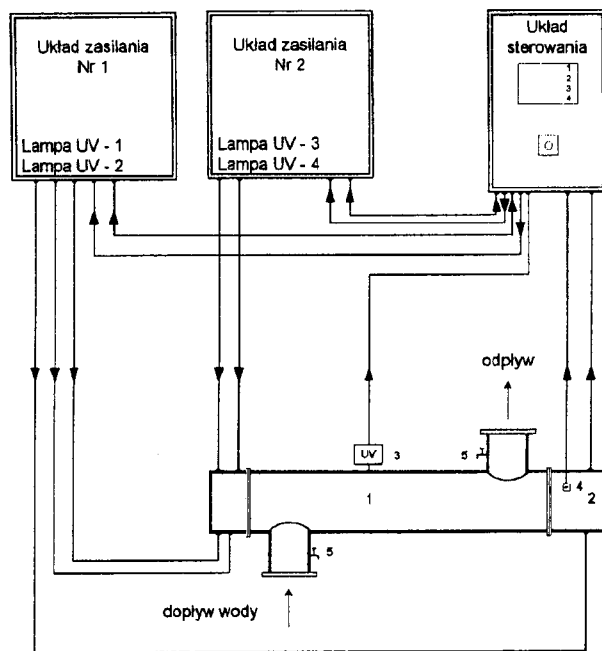
Charakterystyka lamp UV firmy Berson

Spośród czterech ofert firm europejskich, produkujących urządzenia do dezynfekcji wody promieniami UV, wybrano lampę firmy Berson z Holandii. O takim wyborze zdecydowały następujące względy: opanowana technika produkcji lamp średniociśnieniowych o dużych mocach i wydajnościach, małych gabarytach, z małą liczbą lamp UV, automatycznym mechanizmem czyszczącym osłony rur z nalotów i osadów wytrąconych z wody, a także niskie koszty wymiany lamp, niskie koszty eksploatacyjne oraz wysoka skuteczność bakteriobójcza.

Zastosowana lampa UV typ HGS4P-B4000 (rys.2) jest lampą średniociśnieniową o wydajności $Q_{sr}=320 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q_{max}=350 \text{ m}^3/\text{h}$), przy współczynniku (poziomie transmisji) $T_{10}=85\%$ (dla wody uzdatnionej $T_{10}=93\%$). Dawka promieniowania UV wynosi minimum $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, a maksimum $50 \text{ mJ}/\text{cm}^2$. Na komplet urządzeń składają się: komora naświetleniowa UV, moduł układu zasilania oraz moduł układu sterowania. Komora naświetleniowa wykonana jest ze stali

nie rdzewnej o kształcie rurowym ($\phi 200 \text{ mm}$) i długości 1355 mm , z dwoma króćcami kołnierzowymi ($\phi 150 \text{ mm}$) – dopływ i odpływ wody dezynfekowanej. Wewnątrz zabudowane są osiowo cztery rtęciowe lampy UV, o mocy 4000 W każda. Lampy pracują w osłonach z rur kwarcowych $\phi 34 \text{ mm}$. Komora naświetleniowa wyposażona jest w czujnik mierzący natężenie promieniowania UV i czujnik temperatury oraz automatyczne urządzenie do czyszczenia osłonowych rur kwarcowych z nalotów i osadów wytrączanych z przepływającej wody przez komorę.

Maksymalna temperatura wody w komorze wynosi 45°C , a w przypadku jej przekroczenia lampa jest automatycznie wyłączana. Ciśnienie robocze w komorze wynosi do 7 bar . Trwałość lamp wynosi $8+10 \text{ tys. godzin}$ pracy ciągłej. Moc zainstalowana wynosi 20 kW , natomiast moc pobierana przez

Rys. 2. Schemat zasilania i sterowania lampy UV MP
(1 – lampa HGS4P-B4000, 2 – automatyczny mechanizm czyszczący, 3 – czujnik pomiaru natężenia promieniowania UV, 4 – czujnik pomiaru temperatury wody w lampie, 5 – kurek pobierczy wody)

lampa – 19,5 kW. Napięcie zasilania wynosi 380/220 V. Moduł zasilania elektrycznego lamp UV stanowi oddzielny element, wykonany w formie dwóch szafek z blachy aluminiowej. Moduł sterowania jest również oddzielnym urządzeniem, wykonanym w formie szafki. Kontroluje on zasilanie i energię UV emitowaną przez lampy. Do kontroli pracy lamp stosowany jest system ECTronik. Wszystkie urządzenia zabudowane są w oddzielnym pomieszczeniu w pompowni, które zaadaptowano specjalnie w tym celu. Komora naświetlania jest zainstalowana na rurociągu tłocznym ϕ 250 mm z zasuwanymi odcinającymi. W komorze UV zabudowane są dwa kurki probiercze do poboru próbek wody do analiz laboratoryjnych. W dyżurce obsługi stacji znajduje się układ sygnalizacji i wizualizacji obsługiwany przez komputer, do którego przesyłane są następujące informacje: natężenie promieniowania UV, czas pracy lamp z datą włączenia, czas pracy automatycznego mechanizmu do czyszczenia kwarcowych osłon lamp, temperatura wody w komorze naświetlania oraz przepływy i ciśnienia wody tłocznej do sieci, poziom wody w zbiorniku wody uzdatnionej.

Koszty dezynfekcji wody promieniami UV

Całkowity koszt inwestycji związany ze zmianą technologii uzdatniania wody w stacji „Zaborze” wyniósł 210 tys. zł, w tym zakup i montaż kompletnego urządzenia UV – 140 tys. zł, a adaptacja pomieszczenia z wymianą rurociągów i armatury – 70 tys. zł. Z analizy rocznych kosztów wynika, że koszt dezynfekcji wody promieniami UV wynosił około $0,02 \text{ zł/m}^3$, przy stosunkowo niskiej średniej wydajności w roku 1996, która wynosiła $5840 \text{ m}^3/\text{d}$ ($243 \text{ m}^3/\text{h}$). Gdyby zapotrzebowanie na wodę osiągnęło wartość, na jaką została zaprojektowana lampa UV, tj. $320 \text{ m}^3/\text{h}$, to koszt dezynfekcji wyniósłby około $0,015 \text{ zł/m}^3$. Do kosztów eksploatacyjnych dezynfekcji wody wliczono amortyzację urządzenia UV, zużycie energii elektrycznej i koszt wymiany 4 lamp UV po przepracowaniu 10 tys. godzin. Koszt własny produkcji wody (ujęcie i uzdatnianie) w stacji „Zaborze” w roku 1996 wyniósł $0,32 \text{ zł/m}^3$, tzn. koszt dezynfekcji wody stanowił

6,25%, a w wypadku osiągnięcia średniej wydajności stacji udział ten wynosiłby około 4,7%.

Wnioski

♦ Według posiadanego rozeznania i informacji firmy Berson, lampa UV zainstalowana w 1995 r. w MPWiK w Oświęcimiu była pierwszym tego typu i o tak dużej wydajności urządzeniem w komunalnych wodociągach w Polsce.

♦ Po ponad rocznej eksploatacji układu do dezynfekcji wody przy użyciu promieni UV okazało się, że urządzenie firmy Berson zostało właściwie dobrane i solidnie wykonane, pracuje sprawnie i nie jest kłopotliwe dla obsługi.

♦ Woda tłoczona do sieci po procesie dezynfekcji ma naturalny smak i zapach wody źródlanej, jest pozbawiona bakterii i drobnoustrojów. Nie występuje też problem wtórnego zakażenia wody w sieci wodociągowej.

♦ Koszt dezynfekcji wody promieniami UV jest prawie dwukrotnie wyższy od dezynfekcji wody podchlorynem sodu, lecz uzyskane efekty jakościowe są nieporównywalnie lepsze i zauważalne przez konsumentów.

LITERATURA

1. H. DERA: Dezynfekcja wód infiltracyjnych dwutlenkiem chloru na przykładzie MPWiK w Oświęcimiu. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 4(59), ss. 49–52.
2. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
3. R. ZAMAJSKI: Zastosowanie techniki UV do dezynfekcji wody. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 4(59), ss. 53–54.
4. S. PARYS: Dezynfekcja wody przy użyciu lamp UV alternatywą dla chlorowania wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 1993, nr 7, ss. 197–198.
5. Materiały firmy Berson, Holandia.

Groundwater Disinfection by UV Radiation: A Case Study

The investigated object is the Waterworks of Oświęcim and its two water treatment plants – Zasole and Zaborze (south-west Poland). At the Zasole Treatment Plant (infiltration water intake) chlorine dioxide was substituted for gaseous chlorine in 1994. At the Zaborze Treatment Plant (groundwater intake) sodium hypochlorite was replaced by UV radiation in 1995. The treatment train adopted for the needs of the Zaborze Plant includes water disinfection via a UV lamp system (made by Berson UV, Holland). In this paper a technical description of

the UV device has been given, and the efficiency of disinfection obtained by this method has been discussed. The paper also includes a brief analysis of capital and operating costs. As shown by the results of this case study, disinfection performed with the Berson UV lamp system yields satisfactory bacterial kills, and the water supplied to the municipal pipeline tastes and smells like spring water. The disinfecting device is easy to handle and creates no hazards either to the service staff or to the natural environment.