



Ивана Дунић¹

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK25361D

ПРАЋЕЊЕ МИКРОБИОЛОШКОГ САСТАВА У ПИЈАЋОЈ ВОДИ У РЕАЛНОМ ВРЕМЕНУ

Резиме: Развој технологије и тежња ка напретку у процесима дезинфекције воде изнедрили су технике прилагодљиве микробиолошком загађењу и захтеву Правилника и додатним физичко-хемијским утицајима. Правилном употребом, адаптацијом и комбинацијом постојећих техника дезинфекције воде добијају се високоефикасни механизми који и у динамичним системима испуњавају и најстроже критеријуме, којима се потрошачима испоручује безбедна вода за употребу. Међутим, у изузетним случајевима, промене квалитета воде или појаве кварова на уређајима који чине системе дезинфекције, може доћи до дестабилизације система и микробиолошког загађења воде. У наведеној ситуацији најважније је имати брзу, релевантну информацију која ће омогућити правовремену реакцију како би се поново успоставио стабилан рад система дезинфекције воде. Изазов у наведеној ситуацији представља дужина трајања испитивања у лабораторији уз процедуру узимања узорка. У идеалним условима, резултати су добијени након 3 дана што представља проблем, јер у том интервалу може доћи до раста микробиолошке активности, потенцијално развоја биофилма и дубље контаминације дистрибутивног система. Додатни изазов у водоводима чини ограничен ресурс људства који би могли да прате комплетан систем, што је применљиво и на Заводе за јавно здравље, који врше анализе у циљу контроле. Одговор на изазов контаминације и смањеног људства може бити праћење микробиолошког загађења у реалном времену. Са мањим модификацијама постојећих система дезинфекције може се у року од 20 минута добити информација о ефикасности дезинфекције воде и обезбедити правовремена реакција, а тиме обезбедити безбедна вода.

Кључне речи: дезинфекција воде, праћење у реалном времену, количина микроорганизама

REAL TIME MONITORING OF MICROBIOLOGICAL CONTENT IN DRINKING WATER

Abstract: The development of technology and the pursuit of progress in water disinfection processes have given rise to techniques adaptable to microbiological pollution, the requirements of the legislative and additional physical and chemical influences. With proper use, adaptation and combination of existing water disinfection techniques, highly efficient mechanisms are obtained that, even in dynamic systems, meet the strictest criteria for delivering safe water for consumers. However, in exceptional cases of changes in water quality or malfunctions in devices that make up disinfection systems, system destabilization and microbiological water pollution may occur. In the aforementioned situation, it is most important to have quick, relevant information that will enable a timely reaction in order to restore the stable operation of the water disinfection system. The challenge in the mentioned situation is the

¹ *Aqua interma inženjering d.o.o., Београд, ivana@aquainterma.rs, ORCID: 0009-0006-4525-5500*



length of the examination in the laboratory with the sample taking procedure. Under ideal conditions, results are obtained after 3 days, which is a problem, because in that interval there can be an increase in microbial activity, potentially biofilm development and deeper contamination of the distribution system. An additional challenge in waterworks is the limited human resource that could monitor the entire system, which is also applicable to Public Health Institutes that perform analyzes for the purpose of control. The answer to the challenge of contamination and reduced manpower may be the monitoring of microbiological pollution in real time. With minor modifications to the existing disinfection systems, information on the effectiveness of water disinfection can be obtained within 20 minutes and provide a timely response, thus ensuring safe water.

Key Words: water disinfection, real-time monitoring, quantity of microorganisms

1. Увод

Квалитет воде је од суштинског значаја за здравље људи, зато је успостављање континуалних и стабилних процеса дезинфекције од великог значаја. Изазови у вођењу процеса дезинфекције тичу се примарно адекватног постављања и вођења процеса, али и превентивног одржавања и правовременог одговора на хаваријску интервенцију. Проблем настаје мањком људства и ограниченошћу ресурса.

Присуство микроорганизама, може указивати на контаминацију и потенцијалне здравствене ризике, а може изазвати зачепљење филтера накупљањем биофилма, контаминацију и зачепљење цевовода и слично. Дакле, микробиолошку контаминацију је потребно са опрезношћу пратити. Традиционалне методе анализе микробиолошког садржаја воде, попут микробиолошких култура, захтевају лабораторијске услове и дуг период обраде резултата (24-48 сати), што може одложити препознавање потенцијалне контаминације и отежати правовремену реакцију.

Међутим, развијена је иновативна технологија која омогућава брзо, прецизно и ефикасно мерење садржаја бактерија у води коришћењем флуоресцентне ензимске методе. Ова технологија омогућава анализу у реалном времену и може се користити у различитим секторима, укључујући индустрију, водоводне системе и заштиту животне средине. Циљ овог рада је да прикаже начин функционисања поменуте технологије, њене предности и могућности примене у пракси.

2. Принцип рада

Мерење се може вршити ручним, преносивим уређајем (слика 1А) и фиксним уређајем који се поставља у линији (on-line) који врши аутоматско узорковање и мерење (слика 1Б). Због једноставности сликовитог приказа принципа рада, процес анализирања биће приказан на преносном уређају, али је принцип рада оба уређаја идентичан.

Технологија се заснива на патентираном мерењу бактеријске активности помоћу флуоресцентне ензимске методе. Уређај користи флуоресцентну реакцију коју изазива посебан реагенс како би прецизно квантификовао присуство бактерија и гљива у води. Процес анализе од узимања узорка до саопштења резултата обухвата 5 корака: узорковање воде, додавање реагенса, време реакције, мерење и анализа резултата.



Слика 1а. Ручни, преносни уређај

Picture 1a. Handheld device



Слика 1б. Фиксни уређај за мерење у линији

Picture 1b. Online unit

Узорак воде се узима из система и припрема за анализу. Узимање узорка се може вршити ручно (слика 2) или аутоматски зависно од изабраног типа уређаја. Узорак воде се пропушта на филтеру порозности пора од 0,22 μm . Припремом узорка добија се концентрат бактерија на филтеру.

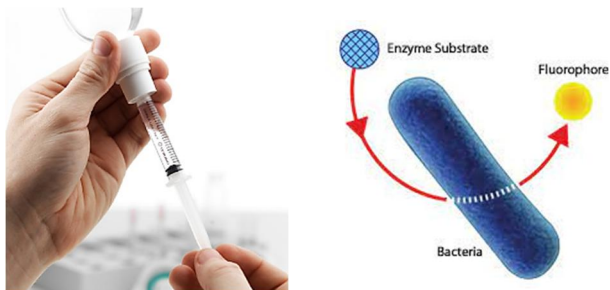


Слика 2. Ручно узимање узорка

Picture 2. Manual sampling



Други корак је додавање реагенса. Овом приликом се додаје специјални ензиматски реагенс (слика 3) у узорак, омогућавајући реакцију са бактеријским ензимима (естеразама) који се природно налазе у ћелијама.



Слика 3. Апликација реагенса
Picture 3. Reagent application

Трећи корак је флуоресцентна реакција. Настала реакција реагенса и ензима хидролазе производи флуоресценцију тј. излучивање. Интензитет зрачења директно зависи односно пропорционалан је броју бактерија у узорку. Четврти корак методе је мерење флуоресценције. Мерење се врши оптичким сензором флуорометра којим се мери интензитет светлости произведене реакцијом (слика 4).



Слика 4. Мерење
Picture 4. Measurement

Пети корак је анализа измерених резултата и приказ. Уређај приказује нумеричку вредност која омогућава брзу процену бактеријског садржаја у води (слика 5).



Слика 5. Приказ резултата
Picture 5. Results



Резултати бактеријске активности се исказују након 10 до 15 минута (или по протоколу који се прилагођава по захтеву корисника), док је за гљивичну активност потребно 30 минута. Тренутни лимит детекције је 5 CFU/ml.

Постојеће методе попут микробиолошких култура и цитометрије обухватају мерење садржаја слободних јединки, док ензимска флуоресценција обухвата и мерење микробиолошке активности на честицама и у колонијама једнако ефикасно чинећи методу обухватнијим приступом одређивању садржаја бактерија у води.

Због своје робусне конструкције и високо осетљивог сензора добијени резултати су поуздани. Поред брзог одзива, резултати се могу репродуковати што је доказано испитивањима које је спровео US-EPA репродуктивношћу добијених резултата са вредношћу релативне стандардне девијације нижом од 6%.

Добијени резултати се налазе у меморији уређаја који се поставља у линији мерења са временском одредницом и са ограничењем на 60 последњих мерења којима се може приступити апликацијом. Мерени резултат је могуће послати аутоматски и дигитално пренети на SCADA, Профинет, Модбас и другим опцијама преноса података. Уређај се може повезати, примити и послати сигнал екстерним уређајима наведеним протоколима, а конкретно информације о мереној вредности, аларму високе вредности, статусу уређаја, грешкама које су се појавиле приликом рада могу се пронаћи и у посебно дизајнираној апликацији. Додатно се уређајем може управљати даљински покретањем мерења и покретањем чишћења. Што се тиче преносног уређаја, нажалост не постоји наведена опција као могућност.

3. Област примене

Примена уређаја је веома широка: било у третману пијаће воде било у водоводним системима или у индустријским условима где су постављени најоштрији захтеви квалитета воде, као што су фармацеутска и прехранбена индустрија. Једна од предности употребе уређаја је да не захтева посебне лабораторијске услове за свој рад, нити комплексну обуку оператера. Јединица која ради у протоку све ради потпуно аутоматски: од узорковања до изношења резултата. Услед своје робусности може се користити у погону или на терену са једнаком ефикасношћу. Уређај у линији (on-line) са роботом узоркивачем се може користити за праћење микробиолошког садржаја у пијаћој води у реалном времену, са чак 12 анализа дневно, било преносним уређајем или фиксном јединицом на жељеној позицији цевовода. Праћење резултата може служити за оптимизацију рада система дезинфекције праћењем ефекта дезинфекције. Може се користити и за процену употребе различитих техника дезинфекције или промену доза биоцида за најбољи ефекат третмана. На тај начин се може рационалисати потрошња биоцида, смањити трошак редовног рада система и оптимизовати процес за најбољи ефекат дезинфекције.

4. Закључак

Праћење микробног садржаја у води у реалном времену представља значајан напредак у области микробиолошке анализе воде. Његова брзина одзива, прецизност



и једноставност употребе чине га идеалним решењем за водоводне системе и производне индустријске системе који користе пијаћу тј. дезинфиковану воду.

Могућност континуалног праћења бактеријског садржаја у води омогућава брзу реакцију на евентуалну контаминацију чиме се смањује ризик по здравље и нуди могућност оптимизације потрошње биоцида смањујући трошкове рада на уштрб одржања ефикасности рада система дезинфекције. Све наведено нуди могућност унапређења постојећих система, једноставност у праћењу и управљању процесима за најбољи ефекат. Вредан алат који ће пружити важне информације правовремено сваком предузећу може бити од кључног значаја за вођење процеса третмана воде, нудећи вишу безбедност потрошачима и оптимизацију рада постројења за уштеде и одрживији систем.

Литература

- [1] Schou Christian, Biological stability and Risk Assessment of Drinking Water in Denmark. *Nordic Drinking Water Conference*, 2010, Copenhagen, Denmark, 2010.
- [2] J. Fajt et al, *Selection, Screening and Field Trial of Calcium Hypochlorite to reduce bacteria population in freshwater storage tanks in Williston*, North Dakota, USA. AMPP Paper No.17645, 2022.
- [3] J. Fajt, Sometimes more is just more: THPS biocide laboratory kill study on wildtype Sulfate Reducing Bacteria, *AMPP paper* No. 18858, Denver, Colorado, 2023.