

Bezbednost vode za piće tokom distribucije do krajnjeg korisnika

Prof. dr Aleksandra Tubić

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman
za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine

Šta je Plan za bezbednu vodu za piće?

Plan bezbednosti vode je preventivni pristup upravljanju rizicima koji obuhvata ceo lanac vodosnabdevanja

izvorište → tretman → skladištenje → distribucija i potrošnje

Ključni koraci uključuju:

- Identifikaciju opasnosti

- Procenu rizika (verovatnoća + težina posledica)

- Definisanje i primenu mera kontrole

- Operativni monitoring

- Verifikaciju da su ciljevi kvaliteta ispunjeni

- Upravljanje, dokumentovanje i redovno preispitivanje plana

Rizici tokom faze distribucije

WSP posebno naglašava sledeće potencijalne rizike kada voda napusti postrojenje za preradu i putuje kroz mrežu do krajnjeg korisnika:

Tip rizika	Šta može da pođe po zlu	Uzroci
Fizička oštećenja / prodor kontaminacije	Unos mikroorganizama i zagađivača kroz pukotine, curenja, ilegalne priključke ili povratni tok, naročito kod pada pritiska u mreži	Stara mreža, loše održavanje, neadekvatne popravke, prekidi u snabdevanju, zemljotresi
Mikrobni rast i biofilm	Razmnožavanje mikroorganizama unutar cevi kad opadne rezidualni dezinfekciono sredstvo; stvaranje biofilma	Dugo zadržavanje vode u mreži, zastoji (mrtvi kraci), visoka temperatura, prisustvo nutrijenata
Hemijski rizici	Otpuštanje hemikalija iz materijala cevi; nusproizvodi dezinfekcije; zagađenje iz spoljašnjih izvora	Loš izbor materijala, korozija, prekomerna upotreba hemikalija, duga ekspozicija
Operativni problemi i kvarovi infrastrukture	Gubitak pritiska, kvar ventila, curenje, problemi sa rezervoarima, slab monitoring	Nedovoljno održavanje, loše planiranje, manjak nadzora

WSP: Analiza hazarda

- **Moguće opasnosti:**

- 1... kontaminacija usled obilnih padavina, visoka zamućenost
- 2... kontaminacija površinskom vodom kao posledica poplave
- 3... nedostatak / smanjena količina dostupne vode iz regionalnog vodovoda
ABC
- 4... kontaminacija uskladištene vode, izazvana neodržavanjem ili lošim održavanjem
- 5... kontaminacija tečnim zagađivačima u vodi
- 6... kontaminacija čvrstim zagađivačima u vodi
- 7... kontaminacija usled divljih životinja
- 8... kontaminacija iz šljunkara
- 9... pucanje cevi
- 10... nestanak struje, smanjena dostupnost pijaće vode
- 11... neadekvatan / loš rad postrojenja za preradu vode
- 12...

WSP: Procena rizika

- **Rizik = Verovatnoća × Ozbiljnost posledica**

- za svaku opasnost
- kritične tačke
- mere za ublažavanje
- vlasnik rizika
- status



WSP: Procena rizika

		Posledice				
		Neznatne	Male	Srednje	Velike	Veoma velike
Verovatnoća	Ocena	1	2	3	4	5
	Retko	1	2	3	4	5
	Malo verovatno	2	4	6	8	10
	Srednja	3	6	9	12	15
	Verovatno	4	8	12	16	20
	Skoro sigurno	5	10	15	20	25
Status						
Neophodno je hitno uvesti (nove) mere za kontrolu ovog rizika.						
Mogućnost smanjenja ovog rizika preduzimanjem (daljih) mera						
Mere su preduzete, efikasne su i u skladu sa savremenim standardima. Dalje smanjenje rizika nije izvodljivo.						
Smanjenje rizika nije moguće uz razuman/izvodljiv napor.						

Ključne mere kontrole prema WSP za fazu distribucije

1. Održavanje rezidualnog dezinfekcionog sredstva kroz celu mrežu

Ključna barijera protiv mikrobiološke kontaminacije.

Održavanje minimalne koncentracije hlora (npr. 0,2–0,5 mg/l na krajnjim tačkama) deluje kao zaštitni sloj protiv razvoja patogena.

2. Stalan pozitivan pritisak u sistemu kako bi se sprečio ulazak kontaminirane vode kroz pukotine

Ako pritisak u mreži padne (ispod atmosferskog), zagađena voda iz okoline (kanalizacija, površinska voda, podzemne vode) može da uđe u sistem.

Održavanje **stalnog pozitivnog pritiska** osigurava da voda teče samo u jednom smeru – ka korisniku, a ne iz spoljne sredine ka unutra.

3. Dobar dizajn mreže (izbegavanje "mrtvih krakova", minimizacija stagnacije)

"Mrtvi krakovi" su delovi mreže bez protoka, u koje voda ulazi, ali se ne koristi redovno. U takvim delovima dolazi do **stagnacije**, pada koncentracije dezinfekcionog sredstva i potencijalnog razvoja mikroorganizama.

Dobar hidraulički dizajn podrazumeva:

- Petljaste mreže (*looped systems*)
- Redovno ispiranje manje korišćenih delova
- Optimalno postavljanje krajnjih tačaka i ventila

Ključne mere kontrole prema WSP za fazu distribucije

4. Redovni inspekcijski nadzor i održavanje (detekcija curenja, sanacija, zamena starih cevi)

Stare i loše održavane mreže povećavaju rizik od:

- Curenja (gubitak vode i ulazak zagađenja)
- Kvara cevi (prekidi u snabdevanju)
- Neplaniranih zastoja i hitnih intervencija

Redovan nadzor uključuje vizuelne inspekcije, korišćenje detektora curenja, održavanje ventila i pravovremenu zamenu dotrajalih delova. Održavanje produžava životni vek sistema i štiti bezbednost vode.

5. Monitoring i verifikacija kvaliteta vode u mreži, ne samo na izlazu iz postrojenja

Kontaminacija se može desiti bilo gde u mreži. Zato je važno:

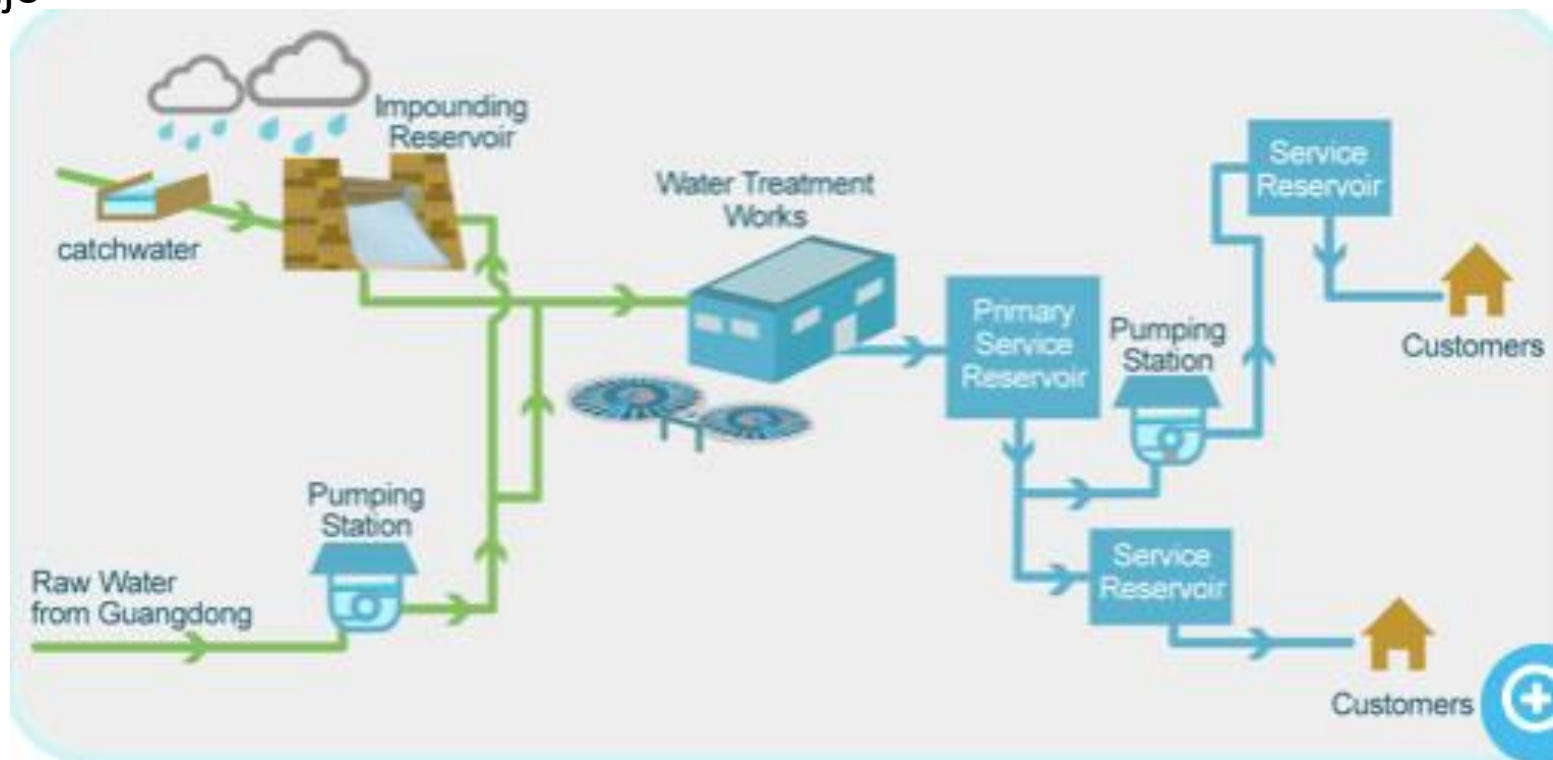
- Redovno uzorkovanje na različitim tačkama mreže (krajnje tačke, čvorišta)
- Praćenje parametara kao što su: hlor, mutnoća, temperatura, mikrobiologija
- Uporedna analiza – da li su ciljevi kvaliteta postignuti i u distribuciji, ne samo na početku

Ključne mere kontrole prema WSP za fazu distribucije

6. Planiranje za vanredne situacije: pukotine na cevima, poplave, padovi pritiska, zagađenja

Vanredne situacije se dešavaju – bilo da su uzrokovane vremenskim nepogodama, tehničkim kvarovima ili ljudskim faktorom. WSP podrazumeva da svaki sistem treba da ima:

- **Plan odgovora na akcidente** (ko, šta, kako reaguje)
- Rezervne delove, materijal i opremu za hitne popravke
- Sistem obaveštavanja korisnika
- Protokol za dezinfekciju mreže nakon havarije
- Vežbe i treninge zaposlenih za reagovanje



Primer: Lista za kontrolu faze distribucije

 Datum provere: _____

 Ime kontrolora / odgovorne osobe: _____

1. Integritet distributivne mreže

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Vizuelna provera curenja na glavnim cevovodima				
Postoji dokumentacija o poslednjim popravkama				
Nema nelegalnih priključaka				
Redovno se proveravaju ventili i hidranti				

2. Zaštita od kontaminacije

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Svi poklopci šaftova su neoštećeni i zatvoreni				
Mesta mogućeg ulaska površinske vode su zatvorena				
Prisutan je povratni ventil kod visokorizičnih priključaka (industrija, farme)				
Dezinfekcija se vrši nakon radova na mreži				

3. Pritisak u mreži

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Pritisak u mreži je stabilan i u preporučenim granicama (npr. 2–6 bara)				
Nema prijava korisnika o prekidima u snabdevanju ili niskom pritisku				
Postoje ventili za rasterećenje / regulaciju pritiska				

4. Kvalitet vode u mreži

Stavka kontrole	Da
Redovno se uzimaju uzorci na krajnjim tačkama mreže	
Parametri (hlor, mutnoća, mikrobiologija) su u skladu sa propisima	

5. Pristup i bezbednost infrastrukture

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Lokacije šahtova i ventila su lako dostupne				
Pristupni putevi nisu blokirani				
Postoji zaštita od vandalizma ili namernog zagađenja				

6. Komunikacija i hitne situacije

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Postoji kontakt lista za hitne intervencije				
Postoji protokol za obaveštavanje korisnika u slučaju prekida / incidenta				

5. Pristup i bezbednost infrastrukture

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Lokacije šahtova i ventila su lako dostupne				
Pristupni putevi nisu blokirani				
Postoji zaštita od vandalizma ili namernog zagađenja				

6. Komunikacija i hitne situacije

Stavka kontrole	Da	Ne	Nije primenljivo	Napomena
Postoji kontakt između...				

WSP: Praćenje kontrolnih mera

- **Šta se kontroliše?**
 - Definišite konkretne mere kontrole, parametar ili aktivnost.
- **Kako?**
 - Opišite metodu, alate ili procedure koje se koriste za kontrolu.
- **Kada / Koliko često?**
 - Navedite intervale (npr. dnevno, nedeljno, mesečno, kontinuirano).
- **Gde?**
 - Identifikujte lokaciju, korak u procesu ili komponentu sistema.
- **Ko nadgleda?**
 - Dodelite odgovornost (osoba ili uloga).
- **Ko analizira?**
 - Definišite ko procenjuje prikupljene podatke.
- **Ko dobija rezultate?**
 - Navedite ko prima rezultate nadgledanja (menadžment, vlasnik rizika, regulator, itd.).

WSP: Praćenje kontrolnih mera

- Primer:

Kontrolna mera	Limit	Šta se kontroliše	Gde
Hlorisanje mreže	> 0.5 & < 1.5 mg/l	Rezidual dezinfektanta	Ulaz u mrežu

Kada	Kako	Ko	Korektivna mera
On-line	Senzor	WSP analitičar	U skladu sa protokolom o neusaglašenosti

Program operativnog monitoringa

- **Relevantni parametri** — parametri koji ukazuju na kvar ili rizik u realnom ili bliskom realnom vremenu.
- **Dovoljan broj tačaka uzorkovanja** — na ulazu u sistem, nakon tretmana, u distribuciji na različitim udaljenostima / na krajnjim tačkama mreže, kao i na mestima skladištenja.
- **Odgovarajuća učestalost** — češće (i kontinuirano, ako je moguće) na kritičnim tačkama; ređe na stabilnim mestima sa niskim rizikom.
- **Jasno definisani ciljevi / kritične granice** — na primer, minimalno prihvatljiv rezidualni hlor, maksimalna dozvoljena mutnoća. Ove granice omogućavaju brzo preduzimanje korektivnih mera kada se pređu.
- **Dokumentovane procedure / planovi operativnog monitoringa**, uključujući i korake koje treba preduzeti kada dođe do odstupanja parametara.
- **Redovni pregled podataka i trendova monitoringa**, radi otkrivanja postepenih kvarova ili degradacije sistema tokom vremena.

WSP: Verifikacija

- **Verifikacija je primena metoda, procedura, testova i drugih procena kako bi se utvrdila usklađenost sa Planom bezbednosti vode (WSP).**
- Verifikacija potvrđuje da su ciljevi kvaliteta vode postignuti i održani, da sistem u celini funkcioniše bezbedno i da WSP deluje efikasno.



WSP: Unapređenje redovnom ponovnom procenom

- Godišnje preispitivanje
- Ponovna procena rizika i kritičnih tačaka (CP)
- Praćenje usklađenosti (zakonska regulativa, WSP, drug ,
- Opcija: Revizija
- Merenje zadovoljstva potrošača



Savremene metode upravljanja distribucionim sistemom

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
Prediktivna kontrola zasnovana na modelima / Digitalni blizanci	Kombinacija hidrauličkih modela i podataka sa senzora koristi se za predviđanje protoka, pritiska, starosti vode i za detekciju odstupanja.	Mogućnost da se problemi predvide pre nego što se pojave (npr. detekcija stagnacije ili niskog hlora u udaljenim delovima mreže) Povećanje efikasnosti – smanjenje troškova hemikalija, energije i operacija	Potreba za tačnom kalibracijom i čestim ažuriranjem modela; Loši ulazni podaci pogoršavaju performanse Potreban je obučen kadar i često značajna početna ulaganja
Praćenje u realnom vremenu pomoću onlajn senzora / IoT sistema	Senzori ugrađeni u distributivnu mrežu mere parametre kao što su rezidualno dezinfekciono sredstvo, mutnoća, pH i dr. Koristi se bežična IoT komunikacija sa niskom potrošnjom energije za prenos podataka sa senzora.	Brza detekcija anomalija (pad koncentracije hlora, iznenadan porast mutnoće itd.) Mogućnost trenutnog alarma i reakcije, čime se smanjuje vreme izloženosti riziku Kontinuirano prikupljanje podataka pruža mnogo bolji uvid u stanje sistema nego povremeno uzorkovanje	Trošak instalacije i održavanja mreže senzora; potreba za kalibracijom i čišćenjem Upravljanje velikom količinom podataka (lažni alarmi, obrada, skladištenje) Napajanje i konektivnost – naročito u udaljenim ili nedovoljno razvijenim oblastima

Savremene metode upravljanja distribucionim sistemom

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
Unapređeno otkrivanje curenja i upravljanje pritiskom	Korišćenje senzora za detekciju vodenih udara, naglih padova i sl., koji ukazuju na curenja Akustični senzori i logeri koriste se za slušanje i detekciju curenja ili oštećenja cevi	Smanjuje gubitke vode – značajno sa ekonomskog i sanitarnog aspekta Rano otkrivanje curenja i pucanja cevi smanjuje rizik od kontaminacije	Visoka cena instalacije i održavanja velikog broja senzora protoka/pritiska U starim mrežama gde su curenja široko rasprostranjena, lokalizacija je otežana
Optimizacija rasporeda senzora pomoću grafova / topologije / statističkih	Istraživanja određuju idealna mesta za postavljanje senzora radi maksimalne efikasnosti sa minimalnim brojem senzora. Koriste se metode teorije grafova, centralnosti i optimizacije, kao i topološka obrade signala	Troškovno efikasno – manji broj senzora pruža adekvatnu pokrivenost Omogućava racionalno planiranje, umesto <i>ad-hoc</i> postavljanja senzora	Potrebne unapređene matematičke i računarske veštine Modeli zavise od pretpostavki koje nisu uvek primenljive (npr. promenljiva potrošnja, nepoznata ponašanja curenja)
Sistemi ranog upozoravanja i alarmi u realnom vremenu	Kombinacija onlajn podataka, algoritama za detekciju anomalija, pragova i procedura za alarme i reagovanje	Brže vreme reakcije (u minutima/satima, a ne danima) Mogućnost integracije sa sistemima podrške odlučivanju i kontrolnim panelima	Rizik od lažnih alarma i „umora“ operatera Potrebne jasne procedure i kapacitet za reagovanje na alarme

Savremene metode upravljanja distribucionim sistemom

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
Integracija SCADA i GIS sistema sa „Big Data“ i mašinskim učenjem	SCADA sistemi se nadograđuju integracijom sa analitikom podataka, mašinskim učenjem, GIS slojevima koji sadrže podatke o imovini (starost, materijal, stanje) Korišćenje superviziranog učenja za procenu pritiska na nepokrivenim čvorovima, otkrivanje curenja i predviđanje kvarova	Bolje korišćenje postojećih podataka; omogućava prediktivno održavanje Omogućava prioritetizaciju ulaganja (npr. koje cevi prvo zameniti)	Potrebni „čisti“ i tačni podaci; često su zapisi o infrastrukturi nepotpuni Modeli mogu „prenaučiti“ i loše generalizovati – potrebna stalna validacija i obuka
Strategija višestruke zaštite / sistemska bezbednosna strategija	Višeslojni pristup ostaje najbolja praksa: zaštita izvora vode, robusni tretman, održavanje dezinfekcije, bezbedna distribucija, monitoring i reakcija Uključuje pripremljenost za vanredne situacije : kvar cevi, zagađenje, prelazak na drugi izvor itd.	Nije zavisao od jedne tehnologije – ima ugrađenu rezervu Obezbeđuje zdravstvenu sigurnost i u slučaju pojedinačnih otkaza	Zahteva koordinaciju, planiranje i dovoljne resurse U manjim komunalnim sistemima, nedostatak tehničkog i finansijskog kapaciteta može ograničiti primenu

Preporučeni alati i vodiči

WHO: "Water Safety in Distribution Systems" – detaljan vodič fokusiran na fazu distribucije

WHO WSP priručnik – uključuje studije slučaja, šablone, ažurirane pristupe

WSP za male sisteme – posebno važan za ruralne ili niskobudžetne zajednice



Kvantitativni podaci / Naučni rezultati

Primer:

Rizik od **mikrobne kontaminacije** značajno raste pri gubitku pritiska ili prekidima u snabdevanju – čak i kratkotrajni pad pritiska može rezultirati rizikom od infekcija iznad prihvatljivih vrednosti.

Jedna švedska studija modelovala je različite scenarije kontaminacije i pokazala da **dnevna verovatnoća infekcije** može premašiti referentnu vrednost od 10^{-6} , posebno u udaljenim delovima mreže.





HVALA NA PAŽNJI