

RANKO GRUJIĆ, VASO NOVAKOVIĆ,
MILADIN GLIGORIĆ

Stručni rad
UDC:628.112.033:624.157=861

Izbor vrste materijala za izradu bunara u zavisnosti od hidrohemijskih karakteristika podzemne vode i namjene bunara

Istraživači su u svojoj stručnoj praksi uočili da izbor materijal za izradu bunara zavisi od hidrohemijskih karakteristika podzemne vode i od njene namjene. U radu su obuhvaćeni različiti materijali za izradu bunara, njihove karakteristike i dato relativno vrednovanje za pojedine namjene, a u zavisnosti od hidrohemijskih uslova, vrijedosti pH, mineralizacije, sadržaja gvožđa, mangana, gasova i drugih faktora.

Obrađeni parametri omogućavaju pravilan izbor materijala za izradu bunara sa stanovišta izrade, korištenja i vijaka trajanja bunarske konstrukcije.

Ključne riječi: voda, bunarska konstrukcija, mineralizacija, korozija.

1. UVOD

Izbor materijala za izradu bunara je jedan od preduoslova, od kojeg zavisi radni vijek i karakteristike, odnosno kvalitet izvedenog bunara. Najčešće projektovani radni vijek bunara iznosi 25 godina. Bunari na našim terenima se u praksi koriste i do 40 godina, što je posledica pada privrednih aktivnosti i ekonomskih poteškoća.

Kada bunarska cijevna konstrukcija propadne dolazi do pjeskarenja bunara, deformacija cijevne kolone, a nekada i do totalnog kolapsa.

U tim uslovima se izvodi novi bunar pored postojećeg. U toku dugogodišnje eksploatacije bunara obavezno je izvršiti povremenu regeneraciju, odnosno čišćenje i fizičko hemijski tretman bunarske konstrukcije i pribunarske zone, čime se poboljšavaju karakteristike bunara (kapacitet i kvalitet vode) i produžava njegov radni vijek i radni vijek ugrađenih pumpi. Preporučuje se regeneracija svake dvije godine, ili najmanje jednom u pet godina.

Snimanje bunarske konstrukcije podvodnom kamerom daje stanje unutrašnje površine bunarske cijevne i filterske konstrukcije. Analiza rezultata step-testom crpljenja može dati veličinu otpora na bunarskoj konstrukciji i u pribunarskoj zoni i njen odnos sa otporima koje prirodna sredina stvara pri kretanju vode do unutrašnjosti bunara. Fizičko-hemijska i morfološka analiza taloga na bunarskoj

konstrukciji i analiza litološkog, odnosno mineralo-petrografskog sastava vodonosnog sloja može prognozno ukazati na efikasnost primjene pojedinih hemikalija u procesu regeneracije bunara i metoda fizičkog i hemijskog tretmana pri regeneraciji. Svu prethodnu analizu i regeneraciju bunara vrše preduzeća sa licencom za izvođenje radova u hidrogeologiji, a konačnu odluku uvijek donosi korisnik bunara.

Ukoliko je u bunar ugrađena loša filterska konstrukcija, loš granulirani filterski zasip ili je neprimjeren prečnik bušenja i stvarna debljina prstenastog sloja zasipa oko filterske konstrukcije i pored dobro izvedene regeneracije je moguće da stvarno poboljšanje bunarskih karakteristika nije moguće u odnosu na prethodno stanje (otpora na filterskoj konstrukciji i u pribunarskoj zoni). Zbog toga je neophodno prije regeneracije obezbijediti podatke o stvarnim karakteristikama bunara i na osnovu toga donijeti procjenu i odluku da li je rentabilnije izvršiti regeneraciju postojećeg bunara ili izvesti novi kvalitetan bunar.

U razmatranju, šta bi u pojedinim prirodnim sredinama bio dobar bunar, svakako bi se nametnulo pitanje izbora materijala zacjevljenja i filtera bunara. Pored toga svakako da presudan značaj imaju i izbor adekvatne metode bušenja, dimenzionisanje prečnika bušenja i prečnika bunarske cijevi, prečnika zrna filterskog granulisanog zasipa i izbor adekvatnih metoda razrade i ispiranja bunara

Izbor vrste cijevnog materijala za izradu bunara se vrši u zavisnosti od fizičko-hemijskog sastava podzemne vode i od namjene bunara.

Adrese autora: Ranko Grujić, dipl.inž.tehn., prof. dr Vaso Novaković, dipl.inž.geol., DOO“IPIN“Bijeljina, Institut za primijenjenu geologiju i vodoinženjering, prof. dr Miladin Gligorić, dipl.inž.tehn.Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet Zvornik

Autori ovog rada su u svojoj stručnoj praksi na više terena uočili da je, nepravilnim izborom materijala za izradu bunara, nepotrebno skraćen „životni vijek bunara“. Ovim radom se želi izvršiti uporedna analiza prirodnih hidrohemijskih uslova sredine i efekata korišćenja različitih materijala za ugradnju bunarske cijevne konstrukcije. Pri tom ne treba zanemariti i ekonomičnost predloženih rješenja u odnosu na namjenu bunara i njegov projektovani radni vijek.

2. NAJČEŠĆE PRIMJENJIVANI MATERIJAL ZA OPREMANJE BUNARA

Najčešći materijali koji se primjenjuju za izradu bunara su: čelične, inox, PVC i PEHD cijevi, rjeđe poliester cijevi i cijevi od drugih materijala.

Svaki od ovih materijala ima različitu cijenu, ali i efekte na kvalitet izvedbe bunara u konkretnoj prirodnoj i radnoj sredini.

Čelik JUS C.B5.221:1973 ili SRPS EN 10220:2005 je otporan na zagrijavanje, ima veliku čvrstoću, stabilan je, međutim mane su mu što je podložan hemijskoj ili elektrohemijskoj koroziji u vodi koja sadrži rastvoreni kiseonik ili pH vrijednost vode nižu od 6,5. Prisustvo CO₂ jona u obliku H₂CO₃ u podzemnoj vodi, izaziva stvaranje slobodne H₂CO₃ u vodi i povećava korozionu sposobnost vode. I visok sadržaj jona Cl⁻ i SO₄²⁻ ima veliki uticaj na postojanost cijevi od čelika. Osim toga, čelik ima veliku težinu i otežava bunarsku konstrukciju, nije fleksibilan odnosno savitljiv prilikom ugradnje i dosta je skuplji od PVC ili PEHD. Spajanje čeličnih cijevi varenjem u prisustvu zapaljivih gasova može biti opasno sa aspekta zaštite na radu. U tom slučaju se koriste cijevi sa navojem ili se koristi druga vrsta cijevnog materijala.

Mehaničke karakteristike nerđajućeg čelika kvaliteta: AISI 304 - AISI 304L - AISI 321 - AISI 316 - AISI 316L predstavljene su u tabeli 1.

PVC prema JUS G. C6. 509 je koroziono otporan materijal, relativno male specifične težine, jednostavan za montažu, fleksibilan prilikom ugradnje, dok su nedostaci ovog materijala sljedeći: slaba toplotna otpornost, veoma lako lomljiv prilikom udara, ima malu klasu čvrstoće od SN 2,5 do SN 10 (kN/m²) za klasične cijevi, ali mogu se nabaviti i cijevi sa klasom čvrstoće do SN 50 (kN/m²). Cijevi veće klase čvrstoće predstavljaju pogodan materijal za izradu bunara, Nazivni pritisak se kreće u rasponu od 6 do 32 NP, a mogu se

nabaviti i cijevi sa većim nazivnim pritiskom ali se u tom slučaju povećava i debljina zida cijevi.

Polietilen visoke gustoće (PEHD) je hemijski postojan materijal, male težine, otporan na koroziju. Može da se primjenjuje u temperaturnom rasponu od -10 do 60 °C. PEHD cijevi imaju dug vijek trajanja - do 50 godina. Montaža i spajanje ovih cijevi je jednostavno i brzo. Primjenjuju se postupci termičkog spajanja ili se koriste cijevi na navoj.

Nerđajući čelik (prokrom ili inox) od običnog čelika ima bolje osobine, a to su: otporan je na koroziju i izražen negativan uticaj pH vrijednosti vode i okolnog stijenskog materijala, velika čvrstoća i žilavost materijala. Primjenjuje se u prehrambenoj industriji, pa je preporučljiv materijal i za pitku vodu, a za flaširane vode obavezan u cijeloj proizvodnoj liniji od bunara do boce. Cijena inox čelika je visoka i nema masovnu primjenu u izvođenju bunara, osim ako je namjena bunara za flaširanje vode.

Prikaz fizičko-hemijskih osobina najčešće korišćenih materijala za izradu bunara dat je u tabeli 1.

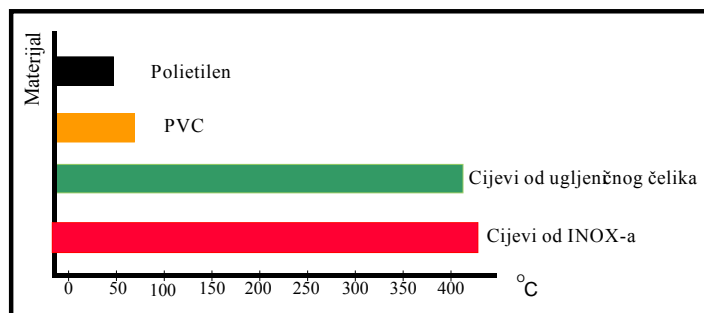
Tabela 1 - Mehaničke karakteristike nerđajućih čelika

Oznaka broj	Čvrstoća istezanja (N/mm ²)	Granica razvlačenja, (N/mm ²)	Izduženje, (%)	Žilavost ISO-V (J)
1.4301	500-700	195	35-45	55-85
1.4306	460-680	185	35-40	55-85
1.4401	510-710	205	30-40	55-85
1.4404	490-690	190	30-40	55-85
1.4541	500-730	200	30-40	55-85
1.4571	500-730	210	26-40	45-85

Primjena cijevi od različitog materijala u zavisnosti od temperature data je na slici 1.

Sa slike 1. se vidi da su najbolje za upotrebu cijevi od ugljeničnih čelika koje izdržavaju visoku temperaturu i do preko 400 °C, a da su po ovom osnovu najmanje otporne cijevi od PE koje su u upotrebi do temperature od oko 60 °C.

U tabeli 2. prikazane su osobine materijala koji su u najčešće u upotrebi za izradu bunara.



Slika 1 - Dozvoljene temperature primjene cijevi

Tabela 2 - Osobine materijala za izradu bunara

Osobine	Čelične cijevi	PE-cijevi	PVC-cijevi	Nerdajući čelik - INOX
Fleksibilnost	mala	velika	velika	mala
Elastičnost, i žilavost pri oštećenju sa vanjskim silama	velika	velika	mala	velika
Uobičajen radni vijek	(do 25 god)	(do 30 god)	(do 30 god)	do 25 godina
Otpornost na koroziju	podložna koroziji (potrebna zaštita)	nije moguća	nije moguća	izražena otpornost na koroziju
Cijena	visoka	niska	vrlo niska	vrlo visoka

3. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU BUNARA SA ASPEKTA NAMJENE BUNARA

Fizičko-hemijske karakteristike vode i namjena bunara, su ključni parametri izbora vrste materijala bunarskih cijevi i filtera. Posebno su značajni: temperatura vode, njena pH vrijednost, ukupna mineralizacija, tvrdoća vode, sadržaj kiseonika i drugih gasova, prisustvo jona gvoždja Fe^{2+} , Ca, prisustvo CO_2 slobodnog ili u obliku H_2CO_3 i H_2S . Pored ovoga na proces korozije cijevnog materijala (posebno čelika), utiče i sadržaj hloridnih jona, sadržaja sulfatnih jona, sadržaja sulfidnih i sulfatnih jedinjenja, sadržaj ugljen dioksida i sadržaja amonijaka.

Namjena bunara može biti različita. Najznačajnija primjena podzemne vode je za **vodosnabdijevanje**. Voda za ovu namjenu, mora da ispunjava uslove koji su propisani za vodu za piće (Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće SG RS br. 40/03). Materijali od kojih se rade bunari, imajući u vidu da je voda prehrambeni artikal, treba da budu izrađeni od materijala koji neće promijeniti njene fizičko-hemijske, niti organoleptičke osobine. Za ovu namjenu bunari mogu da se izvode od čelika sa odgovarajućim antikoroziivnim premazom, PEHD, PVC i INOX.

Na osnovu preporuka Svjetske zdravstvene organizacije [1], materijal koji se koristi za izradu bunara iz koga će se vršiti **flaširanje vode** treba da bude hemijski i elektrohemijski inertan na sadržaj svih materija u podzemnoj vodi. Kod ovih voda je

pH vrijednost u granicama vode za piće. Flaširane vode bi trebalo da imaju mineralizaciju do 500 mg/l (SG RS br. 40/03). Upotrebom INOX-a za izvođenje bunara, ne mijenjaju se fizičko-hemijske osobine podzemne vode.

Upotreba vode sa povišenom mineralizacijom **u balneološke svrhe** u banjsko-turističkim centrima takođe predstavlja jedan od bitnih faktora za izbor bunarske konstrukcije. Mineralne vode mogu da sadrže više karakterističnih katjona i anjona, biološki aktivnih materija i gasova.

Kod ovakvih objekata preporučuje se izrada bunara od PEHD ili INOX materijala otpornog na pojavu oksida i hidroksida soli na zidovima bunarske konstrukcije i otpornog na uticaj drugih karakterističnih materija.

Za bunare **tehničke vode** i bunare sa vodom povišene tvrdoće, niskog pH i visokim sadržajem oksida i hidroksida gvoždja i mangana, najčešće se koriste PE ili PVC cijevi, jer su one otporne na skoro sve primjese koje se nalaze u ovakvim vodama.

Materijal koji se koristi prilikom izrade bunara **za navodnjavanje** je PVC jer je voda za navodnjavanje uglavnom iz prvog vodonosnog sloja sa povišenim sadržajem organskog zagađenja i veoma često sa povišenim sadržajem gvoždja i mangana. U sredinama, gdje podzemna voda nema povišen sadržaj Fe i Mn može da se upotrebljava i čelik.

Izbor materijal za izradu bunara koji se koriste **za odvodnjavanje rudnika** je veoma bitna karak-

teristika. Najčešće se za odvodnjavanje rudnika koriste čelične cijevi zbog njihovih fizičko-mehaničkih karakteristika i zato što se na kvalitet vode u ovom slučaju ne obraća posebna pažnja zbog ograničenog perioda korišćenja. Za odvodnjavanje rudnika se može koristiti i PVC materijal na mjestu gdje se kao produkti fizičko-hemijskih reakcija u rudnom tijelu stvaraju gasovi i tamo gdje nema opasnosti od mehaničkog oštećenja cijevne konstrukcije usled kretanja mehanizacije. Veoma često rudnički gasovi su zapaljivi jer sadrže metan, amonijak i sumpor dioksid.

4. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU BUNARA SA ASPEKTA HIDROHEMIJSKIH KARAKTERISTIKA PODZEMNE VODE

Materijali bunarskog zacjevljenja za bunare sa podzemnom vodom koja zadovoljava standarde vode za piće su opisani u prethodnom poglavlju.

Kao što je već istaknuto, za podzemnu vodu **sa povišenim sadržajem Fe** potrebno je pri izradi bunara, koristiti materijal koji je otporan na formiranje naslaga oksida gvožđa na bunarskoj konstrukciji. Kod ovakvih voda sa povišenim sadržajem Fe se za konstrukciju bunara najčešće koristi PVC ili PE materijal.

Materijal za izradu bunara kod podzemne vode **sa niskom vrijednošću pH** ispod vrijednosti propisane za vodu za piće mora biti otporan na koroziju. Ove vode su veoma korozivne i za njih se načešće koriste PVC ili INOX materijali u zavisnosti od namjene bunarske vode (flaširane vode ili dr.).

Podzemna voda **sa velikom tvrdoćom** na našim prostorima je veoma česta pojava. Bunarska konstrukcija koja se može koristiti za ovaj tip vode može biti od PVC, PE i INOX cijevi. Za ovaj tip vode se ne preporučuje upotreba čeličnih cijevi zbog formiranja sloja mineralnih soli na zidovima bunarske konstrukcije.

Voda **sa visokim sadržaj jona Cl ili SO₄²⁻** se može pojaviti u blizini rudnih tijela. Za izradu bunarske konstrukcije u ovakvim vodama mogu se koristiti PVC, PE ili INOX materijali. Voda sa povišenim sadržajem hloridnih jona imaju obično veliku mineralizaciju što ukazuje da imaju veliku korozivnost.

Za ugradnju bunarske konstrukcije za zahvatanje podzemne vode **sa visokim sadržajem CO₂ gasa**, kao i za mineralne vode, preporučuju se cijevi od INOX materijala koji je otporan na agresivno dejstvo CO₂ i na temperaturu podzemne vode.

Za podzemnu vodu **sa povećanom mineralizacijom** (>1 g/l) treba da se upotrebi materijal za

izradu bunara koji je pogodan za mineralnu vodu. Mineralne vode najčešće se koriste kao flaširane i u balneološke svrhe u banjama [2].

Za izradu bunarske konstrukcije za termalne vode koje prema mineralizaciji ne spadaju u mineralne vode koriste se najčešće ugljenične čelične cijevi i INOX jer imaju dobru toplotnu otpornost. Cijevni materijal koji se koristi za izradu bunara **termalne vode** temperature iznad 80 °C je čelik. Upotreba ovih cijevi je opravdana za termalnu vodu sa povišenom temperaturom jer su ove cijevi otporne na temperaturu.

Kod termalnih voda, kada je temperatura vode ispod 60 °C, česta je upotreba i polietilenskih cijevi (PEHD), zato što su otporne na: koroziju, mehaničke i hidrauličke udarce, hemijski su postojane i imaju dug vijek trajanja do 50 godina.

5. ANTIKOROZIONA ZAŠTITA ČELIČNE BUNARSKE KONSTRUKCIJE

Za ispitivanje korozivnosti i stabilnosti vode najčešće se primjenjuje Langelier-ov indeks zasićenja i Ryzner-ov indeks stabilnosti [3]. Oba ova indeksa razmatraju vodu samo sa aspekta ravnoteže između koncentracija sledećih komponenata: karbonata, bikarbonata sa jedne strane i ugljene kiseline sa druge strane. Ostali parametri koji utiču na koroziju nisu uzeti u razmatranje zato se ova metoda može koristiti za određivanje približnih vrijednosti korozivnosti i stabilnosti vode.

Langelier-ov i Ryznerov indeks po definiciji su:

$$L.I = pH - pHs \quad (1)$$

$$R.I = 2pHs - pH \quad (2)$$

gdje je:

pH - izmjerena aktuelna pH vrijednost i

pHs - je pH vrijednost vode koja je ravnotežno zasićena kalcijum-karbonatom.

Korozivna zaštita bunarske cijevne i filterske konstrukcije od čelika, je jedan od osnovnih vidova zaštite. Korozija (razaranje) je proces koji se odvija u kontaktu čelične bunarske konstrukcije sa zemljištem koje sadrži određenu količinu vlage, mineralnih materija i kiseonika koji se ponašaju kao elektroliti u elektrohemijским reakcijama.

Korozija bunarske konstrukcije može biti ubrzana pod dejstvom lutajućih struja.

Uobičajena antikorozijska zaštita je pasivna zaštita materijala koja se ostvaruje raznim prevlakama kao što su epoksidne smole ili prevlake na bazi bitumena. Za postupke zaštite bunarske konstrukcije koristi se i zaštita bunarske konstrukcije izolacijskim oblogama i premazima.

Zaštitna izolacija treba da je sa metalnom konstrukcijom čvrsto spojena, neporozna, otporna na vodu i postojana na hemijske, fizičke i termičke uticaje u toku eksploatacije [4].

Katodna zaštita bunara i bunarskih konstrukcija je u pojedinim državama propisana posebnim standardima katodne zaštite. Prilikom izbora bunarske konstrukcije i katodne zaštite koja je preporučena navešćemo kalifornijski standard za bunare [5].

Katodna zaštita čelične bunarske konstrukcije od korozije je ostvarena primjenom postupka katodne polarizacije. Za pravilan postupak katodne zaštite potrebno je poznavanje osnovnih parametara katodne zaštite: minimalni zaštitni potencijal, i maksimalni zaštitni potencijal.

Ovaj proces se ostvaruje vezivanjem bunarske konstrukcije koja se katodno štiti sa negativnim polom izvora jednosmjerne struje ili vezivanjem za metal čiji je elektrodni potencijal negativniji od elektrodnog potencijala bunarske konstrukcije. Na bunarskoj konstrukciji se stvara višak elektrona koji ubrzava katodnu reakciju a usporava anodnu reakciju. Kada je katodna polarizacija dovoljno velika, brzina korozije se zaustavlja, tj. anodna polarizacija je jednaka nuli što predstavlja minimalni zaštitni potencijal. Minimalna zaštitna struja je vriednost jednosmjerne struje pri kojoj se na površini metalne konstrukcije uspostavlja minimalni zaštitni potencijal.

6. ZAKLJUČAK

Izbor materijala bunarske konstrukcije je izuzetno bitan sa aspekta hidrohemijskih karakteristika podzemne vode i njene namjene.

Prije nego što izvršimo izbor materijala cijevi i filtera bunarske konstrukcije, potrebno je za geološku sredinu poznavati litostratigrafske i hidrogeološke karakteristike na toj lokaciji. Ovo se postiže hidrogeološkim istraživanjima i laboratorijskim ispitivanjem fizičko-hemijskih osobina pod-

zemne vode.

Dimenzionisanje konstrukcije bunara nije predmet ovog rada i vrši se u skladu sa projektovanom dubinom bunara, filtracionim karakteristikama sredine, očekivanim kapacitetom bunara, projektovanim sniženjem, veličinom kritičnih ulaznih brzina vode u pribunarskoj zoni i na otvoru filtera i sl.

Preporuke date u ovom radu treba da pomognu u projektovanju bunara, kako bi se omogućio njihov duži radni vijek i optimalni uslovi njihove eksploatacije.

U svakom slučaju, za normalan radni vijek bunara je neophodno i njihovo "održavanje" povremenom provjerom stanja bunarske konstrukcije i izvođenjem fizičko-hemijske regeneracije bunara. Izbor konstrukcionih karakteristika i vrste materijala bunara treba da omogući i primjenu potrebnih metoda fizičko-hemijske regeneracije, bez opasnosti od oštećenja bunarske konstrukcije.

7. LITERATURA

- [1] World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking-water Quality - 3rd Edition, Volume 1: Recommendations, World Health Organization, Geneva, 2004.g.
- [2] COUNCIL DIRECTIVE (80/777/EEC) of 15 July 1980 on the approximation of the laws of the Member States relating to the exploitation and marketing of natural mineral waters, Official Journal L 229, 30/08/1980. 0001 - 0010.
- [3] Milanović, P., Pavlović M., Gligorić M., Analiza korozivnosti i stabilnosti geotermalne vode u cilju izbora materijala grejnog sistema, 8.YUCORR, knjiga radova str. 255-259, Tara 2006.
- [4] Lačnjevac Č., Nešić S., Katodna zaštita opreme termoenergetskih postrojena od korozije, Integritet i vek konstrukcija, Vol. 7, br. 2. str. 109-114, 2007.
- [5] Department of Water Resources, California well Standards, Final draft, Builten 74-90, State California, 1991.

ABSTRACT

SELECTION OF THE TYPE OF MATERIAL FOR THE CONSTRUCTION OF WELLS DEPENDING ON HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF UNDERGROUND WATER AND THE PURPOSE OF THE WELL

Researches have noticed in their professional work that the type of material to be used in the construction of wells depends on hydrochemical properties of underground waters as well as on their purpose. The work includes different materials for the construction of wells, their properties and it gives relative evaluation for particular purposes depending on hydrochemical conditions, pH value, mineralization, the content of iron, manganese, gases and other factors.

The parameters investigated enable a fair choice of material for the construction of wells from the aspect of constructing, using and duration period of the well construction.

Key words: water, well construction, mineralization, corrosion.