

UTJECAJ SLABOPROPUSNIH NASLAGA NA OBNAVLJANJE ZALIHA PODZEMNIH VODA NA PRIMJERU ISTOČNE SLAVONIJE

Andrea BAČANI, Pavao MILETIĆ i Marija HEINRICH-MILETIĆ

Ključne riječi : Hidrogeološki parametri, slabopropusne naslage.

Key words: Hydrogeologic parameters, semipervious layers

U radu je prikazana verifikacija vrijednosti koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti i koeficijenta specifičnog uskladištenja slabopropusne krovine prvog vodonosnog sloja na području istočne Slavonije.

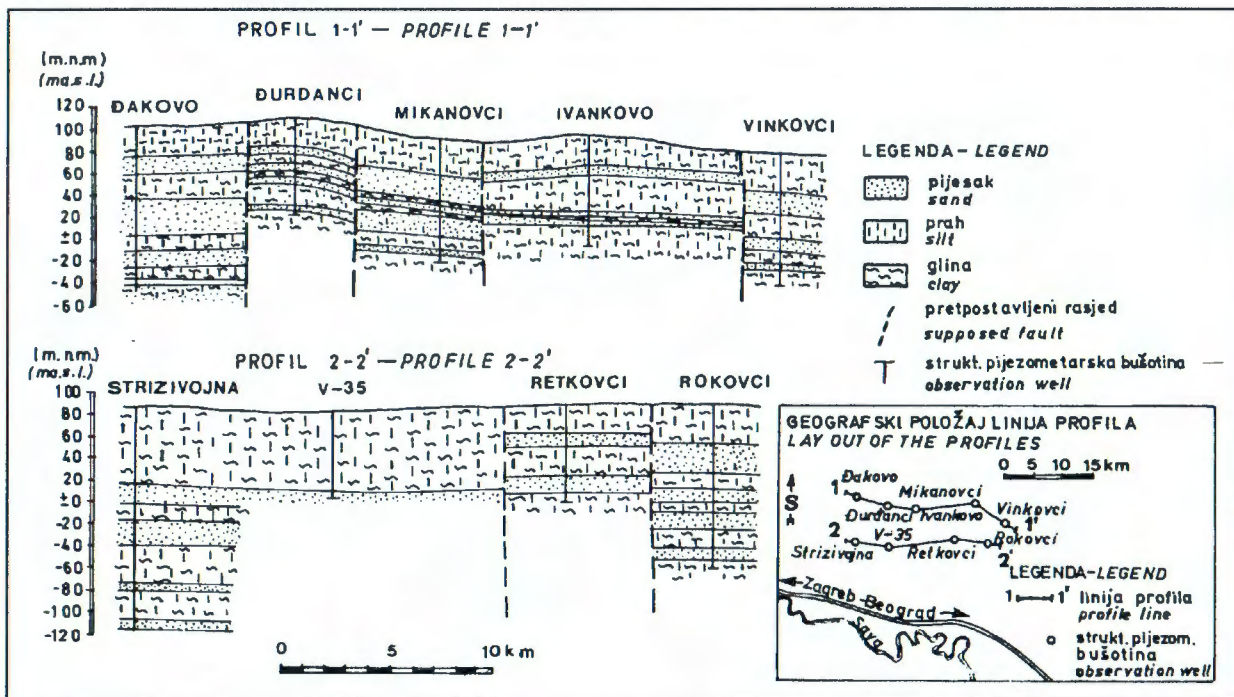
In this paper the verification of the values of the vertical permeability coefficient and the specific storage coefficient for the semipervious layer overlying the first aquifer on the are of Eastern Slavonia is presented.

1. UVOD

U prvoj hidrogeološkoj zoni područja istočne Slavonije koje se prostire između Đakova i Vinkovaca (Sl. 1) mogu se izdvojiti tri jače izražena vodonosna sloja (MILETIĆ et al., 1986).

Vodonosni slojevi su od površine terena i međusobno odijeljeni relativno debelim, glinovito-prašinastim naslagama. Prihranjivanje pojedinih vodonosnih slojeva vertikalnim dotokom vode ovisi o hidrogeološkim parametrima slabopropusnih, omeđujućih naslaga. Količina procjeđivanja kroz slabopropusne naslage bilo s površine terena ili iz dubljih vodonosnih slojeva ovisi

o koeficijentu vertikalne hidrauličke provodljivosti. Prema tome o njemu ovisi i siguran eksploatacijski kapacitet pojedinih vodonosnih slojeva. Vrijednost ovog parametra određivana različitim metodama može se razlikovati za nekoliko redova veličine. Tako na primjer, za krovinu prvog vodonosnog sloja na području istočne Slavonije njegova vrijednost određivana edometarskim pokusima je reda veličina 10^{-6} mdan⁻¹, a određivana u okviru interpretacija podataka pokusnog crpljenja vodonosnog sloja je reda veličine 10^{-3} mdan⁻¹. Ovisno o korištenoj vrijednosti parametra za proračun eksploatacijskih rezervi



Slika 1. Hidrogeološki profili prve hidrogeološke zone u istočnoj Slavoniji.
Fig. 1. Hydrogeologic profiles of the first hydrogeologic zone in eastern Slavonia.

zaključci o veličini obnavljanja mogu biti vrlo različiti od takvih da obnavljanja praktički nema, do takvih da postoji znatan siguran eksploatacijski kapacitet. Koeficijent specifičnog uskladištenja određuje količinu vode koju iz pora mogu otpustiti slabopropusne naslage uslijed pada tlaka. Naime, crpljenje vode iz vodonosnog sloja uzrokuje pad tlaka, a razlika tlakova uzrokuje dotok vode iz slabopropusnih naslaga u vodonosni sloj čija količina ovisi o veličini koeficijenta specifičnog uskladištenja. Njegova je vrijednost za krovinu prvog vodonosnog sloja određivana metodom HANTUSH-a (1960). Ona je značajna, reda veličine $10^{-3} m^{-1}$, što znači da je i dotok vode u vodonosni sloj za vrijeme crpljenja značajan iz tog izvora. S druge strane sve metode koje se u praksi koriste za interpretaciju podataka pokusnog crpljenja (HANTUSH & JACOB, 1955; HANTUSH, 1956 i WALTON, 1962) i koje su se koristile za interpretaciju podataka svih pokusnih crpljenja provedenih na području istočne Slavonije, u svojim pretpostavkama zanemaruju vrijednost koeficijenta specifičnog uskladištenja. Na taj način je svaki otklon krivulje "vrijeme-sniženje" od Theisove tipske krivulje za zatvoreni sloj, znači svaki dotok koji je pokazala krivulja crpljenja, tumačen kao infiltracija s površine ili međuslojno procjeđivanje. Ako se dotok iz uskladištenja slabopropusnih naslaga interpretira kao međuslojno procjeđivanje čini se velika pogreška, jer je dotok iz uskladištenja slabopropusnih naslaga jednokratno i neobnovljiv (uz nepromijenjenu razliku tlaka), a međuslojno procjeđivanje predstavlja određen siguran eksploatacijski kapacitet.

2. TEORETSKA OSNOVA

Parcijalna diferencijalna jednačba koja opisuje jednodimenzionalan tok u smjeru osi z praktički nestišljivog fluida, kakvim možemo smatrati vodu, kroz stišljivu poroznu sredinu, kakvom možemo smatrati glinovito-prašinsti sloj, glasi:

$$(1) \quad \frac{\partial^2 h'}{\partial z^2} = \frac{Ss'}{K'} \frac{\partial h'}{\partial t}$$

gdje su: h' - pijezometarska razina u slabopropusnoj krovini (m)

Ss' - koeficijent specifičnog uskladištenja slabopropusne krovine (m^{-1})

K' - koeficijent vertikalne hidrauličke provodljivosti slabopropusne krovine ($mdan^{-1}$)

Rješenje jednačbe (1) za zadane granične i početne uvjete pokazuje raspored pijezometarskih razina u slabopropusnoj krovini kao funkciju dubine (z) i vremena (t). U radu je korišteno analitičko rješenje koje odgovara slabopropusnom sloju neograničene debljine u krovini vodonosnog sloja, jer takvo rješenje najbolje opisuje

30 m debelu, glinovito-prašinstu krovinu prvog vodonosnog sloja na području istočne Slavonije.

Početni i granični uvjeti mogu se pisati:

$$h'(z, t=0) = h \quad (2)$$

$$h'(z=0, t) = h - \Delta h \quad (3)$$

$$h'(z=\infty, t) = h \quad (4)$$

Za navedene uvjete rješenje jednačbe (1) glasi (prema Domenicu 1972):

$$(5) \quad h'(z, t) = h - \Delta h \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{z}{2 \sqrt{\frac{K't}{Ss'}}} \right) \right]$$

gdje su: h' - pijezometarska razina u slabopropusnoj krovini (m)

h - početna vrijednost pijezometarske razine u vodonosnom sloju (m)

h - pad pijezometarske razine u vodonosnom sloju (m)

z - udaljenost od granice s vodonosnim slojem (m)

t - vrijeme proteklo od pada pijezometarske razine u vodonosnom sloju (dan)

K' - koeficijent vertikalne hidrauličke provodljivosti slabopropusnog sloja ($mdan^{-1}$)

Ss' - koeficijent specifičnog uskladištenja slabopropusnog sloja (m^{-1})

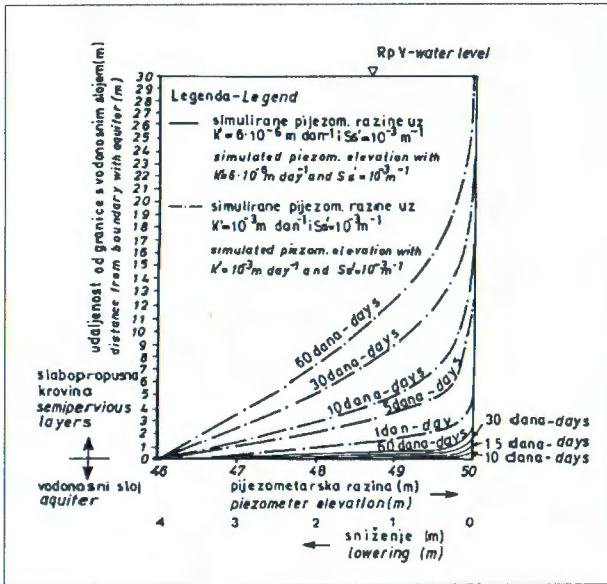
$\operatorname{erf}(x)$ - funkcija greške

Za različite kombinacije vrijednosti koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti i koeficijenta specifičnog uskladištenja računat je raspored pijezometarskih razina. Simulirane pijezometarske razine uspoređivane su s pijezometarskim razinama koje su mjerene za vrijeme pokusnih crpljenja u baterijama pijezometara perforiranim u vodonosnom sloju i na različitim dubinama slabopropusne krovine.

3. REZULTATI PRORAČUNA

Načinjena su dva primjera. Prvi primjer odnosi se na crpilište Đakovo-Trslana gdje su korišteni podaci o pijezometarskim razinama mjereni na bateriji pijezometara V-27 za vrijeme crpljenja bunara BV-5 i BV-28 u trajanju od 30 dana. Pad pijezometarske razine u vodonosnom sloju mjereno u pijezometru V-27 iznosio je 4 m. Simulirane pijezometarske razine u slabopropusnoj krovini za dvije grupe parametara prikazane su na slici 2, a uspoređene s mjerenim podacima na slikama 3 i 4.

Pijezometar V-27/1 ima filter ugrađen na cca 3m

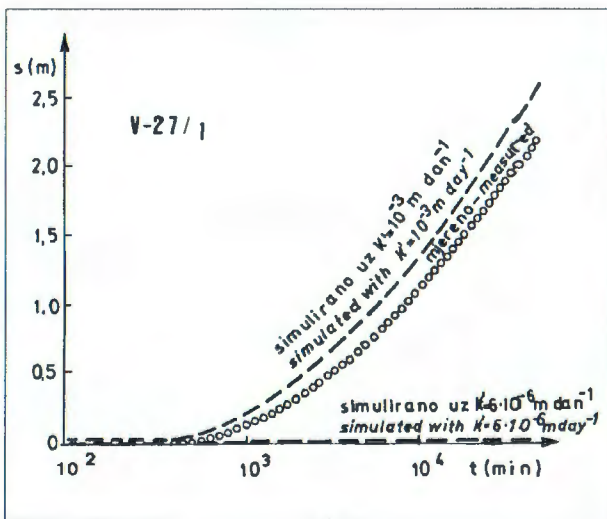


Slika.2. Raspored simuliranih pijeziometrijskih razina (snižavanja) u slabopropusnoj krovini prvog vodonosnog sloja na lokaciji –AKOVO - TRSLANA.

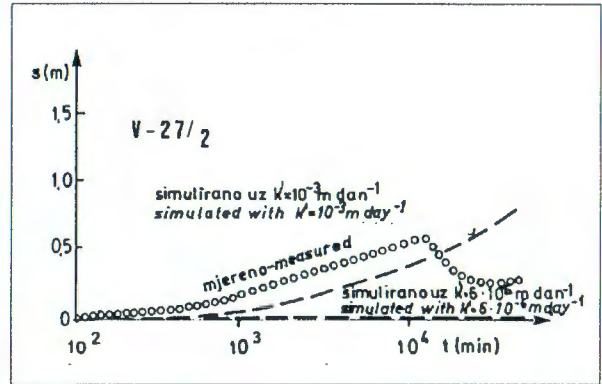
Fig.2.Disposition of the simulated piezometer elevation (lowering) in the semipervious layer overlying the first aquifer on the location –AKAVO - TRSLANA.

udaljenosti od granice s vodonosnim slojem, a pijeziometar V-27/2 na cca 10 m udaljenosti od granice s vodonosnim slojem. Uz laboratorijski određenu vrijednost koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti simulirano sniženje je u oba pijeziometra jednako nuli što očito ne odgovara mjerenim vrijednostima. Uz terenski određene parametre, simulirane razine u pijeziometru V-27/1 su nešto više od mjerenih, a u pijeziometru V-27/2 su nešto niže, što je posljedica heterogenosti sloja.

Slični rezultati dobili su se i u drugom primjeru koji se odnosi na crpilište Kanovci-Vinkovci. Tu su korišteni podaci o razinama podzemne vode mjereni u bateriji pijeziometara V-24 za vrijeme crpljenja bunara BV-24 u trajanju od 4 dana. Na slici 5 prikazan je raspored

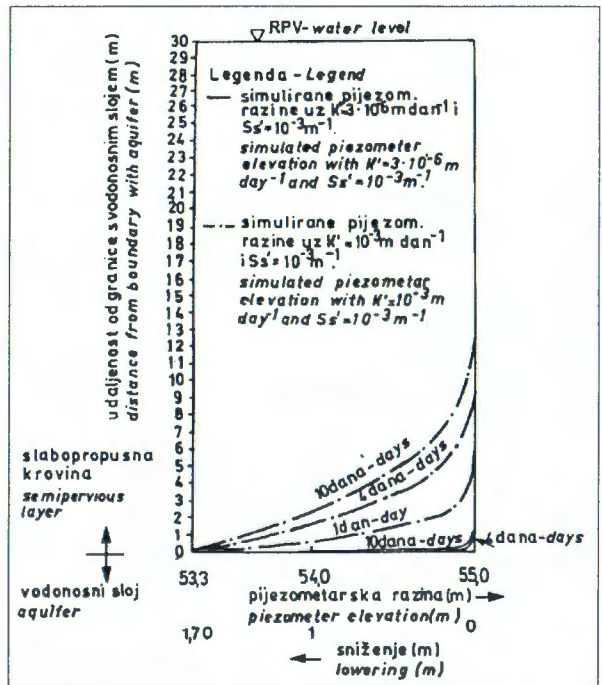


Slika 3. Simulirane i mjerene krivulje za pijeziometar V-27/1
Fig. 3. Simulated and measured curves for the piezometer V-27/1

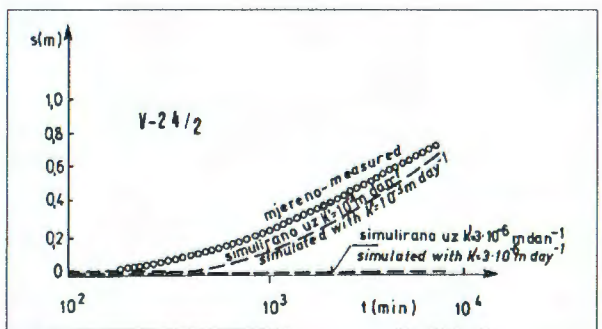


Slika 4. Simulirane i mjerene krivulje za pijeziometar V-27/2
Fig. 4. Simulated and measured curves for the piezometer V-27/2

simuliranih pijeziometrijskih razina, odnosno sniženja razina, za dvije grupe parametara, a na slici 6 prikazana je usporedba mjerenih i odgovarajućih simuliranih



Slika 5. Raspored simuliranih pijeziometrijskih razina (snižavanja) u slabopropusnoj krovini prvog vodonosnog sloja na lokaciji VINKOVCI
Fig.5. Disposition of the simulated piezometer elevation (lowering) in the semipervious layer overlying the first aquifer on the location VINKOVCI



Slika 6. Simulirane i mjerene krivulje za pijeziometar V-24/2
Fig. 6. Simulated and measured curves for the piezometer V-24/2

vrijednosti.

Pijezometar V-24/2 ima filter na udaljenosti cca 3m od granice s vodonosnim slojem. I u ovom primjeru, utjecaj crpljenja se ne bi trebao registrirati u pijezometru uz vrijednost koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti određene laboratorijski. Uz terenski određene vrijednosti parametara simulirane razine približno odgovaraju mjerenim.

4. ZAKLJUČAK

Provedena analiza pokazala je slijedeće:

- najbolje podudaranje mjerenih i simuliranih pijezometarskih razina postignuto je za vrijednosti koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti $K'=10^{-3}$ m dan⁻¹ i koeficijenta specifičnog uskladištenja $Ss'=10^{-3}$ m⁻¹.

- u prvom vremenu crpljenja (do 60 dana uz debljinu krovine od 30 m) prihranjivanje sloja vrši se isključivo iz uskladištenja slabopropusne krovine (i podine), a tek nakon tog vremena počinje infiltracija s površine (ili dotok iz dubljih vodonosnih slojeva).

Rezultati provedene analize upućuju na slijedeće zaključke:

1. Vrijednosti koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti određivane edometarskim pokusima na uzorcima slabopropusnog materijala su premale i ne mogu se koristiti za analizu događaja u prirodi.
2. Indirektno određivanje koeficijenta vertikalne hidrauličke provodljivosti metodama za interpretaciju podataka pokusnog crpljenja susjednog vodonosnog sloja daje realnije vrijednosti.
3. Pretpostavka o beskonačno malom koeficijentu uskladištenja slabopropusnih naslaga je pogrešna. Obzirom da je dotok vode iz tog uskladištenja jednokratni i u danim uvjetima neobnovljiv, treba ga, prilikom interpretacija podataka pokusnog crpljenja, razlikovati

od drugih, stalnih izvora prihranjivanja.

Valja još napomenuti da izneseni podaci i zaključci predstavljaju dio istraživanja obnovljivih zaliha podzemnih voda u istočnoj Slavoniji. Istraživanja su u toku i to posebno u smislu utjecaja konsolidacije na prtok vode u crpljen sloj. Taj utjecaj je u našem slučaju zanemaren premda je poznato da je on posljedica kombinirane plastične i elastične deformacije slabopropusne serije slojeva u krovini crpljenog vodonosnog sloja. Dužni smo spomenuti i činjenicu da se u edometru određen koeficijent vertikalne hidrauličke provodljivosti odnosi na najslabije propusne proslojke slabopropusne krovine.

5. LITERATURA

- DOMENICO, P.A. (1972): Concepts and models in groundwater hydrology. - McGraw - Hill Book Company., 405, New York.
- HANTUSH, M.S., JACOB, C.E. (1955): Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer. - Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 36, 95-100, New York.
- HANTUSH, M.S. (1956): Analysis of data from pumping tests in leaky aquifer. - Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 37, 702-714, New York.
- HANTUSH, M.S. (1960): Modification of the theory of leaky aquifer. - J. Geophys. Res., vol. 65, 3713-3724, Washington.
- MILETIĆ, P., BAČANI, A., MAYER, D., CAPAR, A. (1986): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije. - Geol. vjesnik, 39, 137-150, Zagreb.
- WALTON, W.C. (1962): Selected analytical methods for aquifer evaluations. - Illinois state Water Surv. Bull., 49, 81, Urbana.

THE IMPACT OF SEMIPERVIOUS LAYERS ON THE GROUNDWATER REPLENISHMENT EXAPMLE: THE AREA OF EASTERN SLAVONIA

A. Bačani, P. Miletić and M. Henrich-Miletić

The first hydrogeologic zone of eastern Slavonia, between Đakovo and Vinkovci, consists of the three aquifers which are overlaid and underlaid by the thick, semipervious layers. The replenishment of the aquifers depends on the hydrogeologic parameters of the semipervious layers. The most important parameters are the vertical permeability coefficient (K') and the specific storage coefficient (Ss'). The vertical permeability coefficient determines the leakage through the semipervious layers and the specific storage coefficient determines the amount of water which the semipervious layers release from the voids.

The values of the vertical permeability coefficient

are considerably different depending upon the method of determination. For example, its order of magnitude for the semipervious layers overlying the first aquifer in this area is 10^{-6} m day⁻¹ when it is determined by the oedometer test, but it is 10^{-3} m day⁻¹ when it is determined by the methods of the pumping test data interpretation. The order of magnitude of the specific storage coefficient is 10^{-3} m⁻¹ when it is determined by the method of HANTUSH (1960), for the pumping test data interpretation. In the other hand it is necessary to emphasize that the most used methods in the ingeneering practice (HANTUSH & JACOB, 1955, HANTUSH, 1956, WALTON, 1962), presume the specific storage

coefficient of the semipervious layers to be infinitely small ($Ss'=0$).

The verification of such differently determined parameter values is made in this work by the analytical one-dimensional model for the vertical flow in the semipervious layers. Simulated piezometer elevations are compared to the piezometer elevations measured in piezometers with the perforations on different deepness of the semipervious layers.

The results of the analysis show that the best compatibility between the simulated and measured piezometer elevations is achieved for the next values

of the parameters when $K'=10^{-3}$ mday⁻¹ and $Ss'=10^{-3}$ m¹.

The replenishment of the aquifer during the first pumping (until the 60 days for the 30 m thick semipervious layer) is performed only by the storage of the semipervious layers and later by infiltration from the surface. Consequently, for the interpretation of the pumping test data in the similar hydrogeologic systems it is incorrectly to use the methods which neglect the storage coefficient of semipervious layers. Further, the values of the vertical permeability coefficient determined in the oedometer test are too small for the analysis of natural occurrences.