

Hidrogeološke razmere v Nuskovi na Goričkem

Ljubo Žlebnik

Geološki zavod, Ljubljana, Dimičeva ulica 16

Mineralno vodo iz vrelcev v Nuskovi so uporabljali že v začetku tega stoletja. Pozneje so pridobivanje opustili. Raziskave so se ponovno začele v letu 1967/68. Izvrtali so devet vrtin, ki so pokazale, da je glavni vodonosnik litotamnijski peščenjak in apnenec tortonske starosti; našle so ga v različni globini od 43 do 179 m. Vodonosen je tudi sarmatski peščenjak. Na podlagi črpalnih poskusov je avtor računal izdatnost vodonosnika in teoretično zmanjšanje izdatnosti po desetih letih in po sto letih.

Uvod

Mineralna voda v Nuskovi na severnem Goričkem izvira v bližini vasi Rogoševci v dolini Ledave ob cesti med Cankovo in mejnim prehodom Kuzma na nadmorski višini 235 m. Po prvi svetovni vojni so pridobivanje mineralne vode opustili, zato sta s časom zajetje in polnilnica propadla. Šele v novejšem času so se na pobudo gostinskega podjetja »Zvezda« v Murski Soboti in ob pomoči Sklada Borisa Kidriča začele raziskave širšega vrelnega območja. Preiskave so imele namen ugotoviti število horizontov mineralne vode, njihovo razprostranjenost in globino ter kemične in bakteriološke lastnosti mineralne vode.

Še pred prvo svetovno vojno so v Nuskovi izvrtali dve vrtini in zajeli mineralno vodo. Podatki o vrtinah se niso ohranili. Od tedaj do leta 1967 na tem območju ni bilo nobenih hidrogeoloških preiskav. V letu 1967 je podjetje INA Lendava izvrtalo v bližini starega zajetja vrtini Nu 1 in Nu 2 do globine 31, oziroma 33,2 m. Vrtini sta bili vrtani brez jedra, zato nista znana njuna profila. Poročilo o teh in drugih preiskavah termalnih vod v Pomurju je izdelal ing. Szabo. Naslednje leto je Geološki zavod Ljubljana izvrtal štiri vrtine (Nu 3, Nu 4, Nu 5 in Nu 6). Nu 4 in Nu 5 sta dosegli metamorfne skrilavce pod terciarnimi plastmi. Leta 1969 so bile izvrtane še vrtine Nu 7, Nu 8, Nu 9. V zvezi z iskanjem nafte so Goričko izmerili tudi geofizikalno. Iz leta 1940 se je ohranila nemška regionalna gravimetrična karta, iz leta 1941 pa poročilo tvrdke PRAKLA iz Berlina o geomagnetnih raziskavah na območju Murske Sote. Geološki zavod Ljubljana je leta 1956 izdelal gravimetrično karto severovzhodne Slovenije v merilu 1:100 000. Pozneje je podjetje Geofizika iz Zagreba izvedlo še seizmične meritve.

Geološki pregled

Najstarejše plasti na preiskanem ozemlju pripadajo paleozoiku. Na površju nastopajo te plasti severno od vrečnega območja v hribovju na meji z Avstrijo, na Rdečem bregu in na grebenih zahodno in vzhodno od tod. Zastopajo jih filitom podobni metamorfni skrilavci, ki so bili najdeni tudi v spodnjem delu vrtin Nu 4 in Nu 6.

Neposredno na paleozojskih skrilavcih leži, kot kažejo podatki vrtin, 15 do 25 m debela plast tortonskega litotamnijskega peščenjaka in apnenca. Na površju litotamnijskih kamenin ni, ker jih transgresivno prekrivajo sarmatske in pliocenske plasti.

Po do sedaj znanih podatkih vsebuje mineralno vodo plast litotamnijskega apnenca in peščenjaka, ki se razteza v dolini Ledave med vrtinami Nu 9, Nu 7 ter Nu 6 in Nu 8 s površino okrog 0,25 km². Po podatkih vrtin Nu 7 in Nu 9 je vrhnja cona litotamnijskega peščenjaka zelo porozna in kavernoza.

Neposredno na tortonskem litotamnijskem peščenjaku leži sarmatski lapor, med katerega so vložene nekaj metrov debele plasti peska in peščenega proda. Iz sarmatskih plasti sestojе griči med Ledavo in Kučnico ter nižji del pobočja na levem bregu Ledave, kjer leže na sarmatskih plasteh neposredno pontske rhomboidea plasti.

Najmlajše plasti pripadajo kvartarju; omejene so le na dolino Ledave. Po podatkih vrtin sestojе kvartarne plasti iz 5 do 10 m debele plasti gline, pod njo pa leži 1,5 do 3,1 m debela plast peščenega proda. Skupna debelina kvartarnih plasti ne presega 12 m.

Sarmatske in tortonske plasti so zelo položno nagnjene (5 do 10°) v smeri toka Ledave. Podlaga terciarnih plasti, ki sestoji iz paleozojskih metamorfni skrilavcev je na območju med vrtinama Nu 7 in Nu 4 zelo položno nagnjena v smeri toka Ledave, medtem ko od tod dalje bolj strmo pada proti jugu. V vrtinah Nu 7 in Nu 4 so metamorfni skrilavci 60 do 90 m globoko pod površjem, v vrtini Nu 6 188 m, medtem ko naj bi bili na območju vrtine Nu 8 že okrog 340 m globoko. Vrtina Nu 8 je bila izvrtana le do globine 136,0 m.

Iz fotogeološke karte in podatkov seizmičnih preiskav vidimo, da poteka vzdolž potoka Ledava prelom, ki ga z vrtinami nismo zanesljivo našli. Vsekakor je premik terciarnih plasti ob prelomu sorazmerno majhen, sicer bi ga v vrtinah morali zaslediti.

Hidrogeološki opis

Podatki vrtin Nu 4, Nu 5, Nu 7 in Nu 9 ter poizkusnih črpanj kažejo na izdatnejši horizont mineralne vode le v tortonskem litotamnijskem peščenjaku in apnencu. V vrtini Nu 3 je zajeta mineralna voda v sarmatskem pesku, ki je zaradi diskordantne lege sarmatskih plasti na tortonskih v neposredni zvezi z vodonosnimi litotamnijskimi kameninami in se verjetno iz njih tudi napaja.

Vodonosni litotamnijski horizont je v vrtinah Nu 9 in Nu 7 v globini 43 do 45 m, v vrtinah Nu 4 in Nu 5 63 do 64 m ter v vrtini Nu 6 v globini 179 m. Plasti torej sprva položno, nato pa strmo padajo v smeri toka Ledave.

Sejalne analize kažejo, da vsebuje litotamnijski peščenjak veliko meljne primesi (delci pod 0,06 mm premera) (25 do 50 %). Verjetno nekaj te meljne

primesi odpade na vrtalno moko. Naravna primes melja je torej manjša od tiste, ki jo kaže sejalna krivulja. Peščenjak je zelo porozen in celo kavernozen, kajti v vrtinah Nu 7 in Nu 9 je vrtalno drogovje na posameznih globinah zaradi lastne teže brez dodatne obremenitve kar samo padlo globlje. Porozna cona je bila ugotovljena v vrtini Nu 7 na globini 47,9 do 48,4 m in v vrtini Nu 9 na globini 45,5 do 47,5 m. Po mineraloški sestavi je peščenjak povsem apnen in prehaja navzdol v litotamnijski apnenec.

V vrtini Nu 8 smo dobili nekoliko mineralizirano vodo v sarmatskem peščenem prodru v globini 91 do 99 m. Peščeni prod vsebuje po podatkih sejalnih analiz le 10 do 12 % melja, ostalo je povečini srednji in debel pesek ter prod. Po mineraloški sestavi je pesek večidel kremenov.

Prepustnost vodonosne plasti, s tem v zvezi pa tudi njena izdatnost, je neposredno odvisna od zrnivosti. Čim večja je primes meljastih delcev, tem manjši sta prepustnost in izdatnost vodonosne plasti. Prepustnost je mogoče računati iz zrnivosti po raznih empiričnih enačbah, vendar so dobljene vrednosti povečini le zelo približne. Najpogosteje je v rabi *Hazenova* enačba:

$$k = 1,16 \cdot d_{10}^2 \text{ cm/s}$$

k = koeficient prepustnosti

d_{10} = premer zrn v mm pri 10 % presejka

V našem primeru smo izračunali vrednost koeficienta prepustnosti k iz zrnivosti vzorcev litotamnijskega peščenjaka iz vrtin Nu 4, Nu 5, Nu 7 in Nu 9 po *Hazenovi* enačbi in dobili vrednosti 3.10^{-5} do $4,4.10^{-6}$ cm/s. Za sarmatski pesek iz vrtin Nu 3 in Nu 8 je vrednost k 3.10^{-3} do $4,2.10^{-5}$ cm/s. Pripominjamo, da so izračunane vrednosti koeficienta k izrazito prenizke, ker je primes melja povečana z vrtalno moko.

Bolj točne podatke dobimo z meritvami izdatnosti vrtin pri določenem znižanju piezometrične gladine vodnega horizonta. V našem primeru so najprimernejši za računsko obdelavo podatki, ki smo jih dobili z meritvami na vrtini Nu 7. Mineralna voda v tej vrtini namreč izteka enakomerno ter ne vsebuje mehurčkov plina. Koeficient prepustnosti k smo izračunali po *Dupuitovi* enačbi.

$$k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \log \frac{R}{r}}{m \cdot s} = \frac{0,366 \cdot 129,6 \cdot 3,699}{8 \cdot 12,3} = 1,78 \text{ m/dan} = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$$

s = depresija = 12,3 m (izmerjena piezometrična gladina 14. 9. 1969 je 12,3 m nad ustjem vrtine)

m = debelina vodonosne plasti (v m)

R = vplivni polmer vrtine okrog 300 m

r = polmer vrtine (v m)

Q = količina iztekajoče vode, izmerjena 12 dni po zajetju vodonosne plasti = $129,6 \text{ m}^3/\text{dan}$

Izdatnost vodonosne plasti ni odvisna samo od koeficienta prepustnosti k , ampak tudi od debeline vodonosne plasti, depresije v črpalni vrtini ter tudi od premera vrtine. Rezultate meritev izdatnosti vrtin smo prikazali v tabeli 1.

Tabela 1
Meritve izdatnosti vrtin v Nuskovi v letu 1969

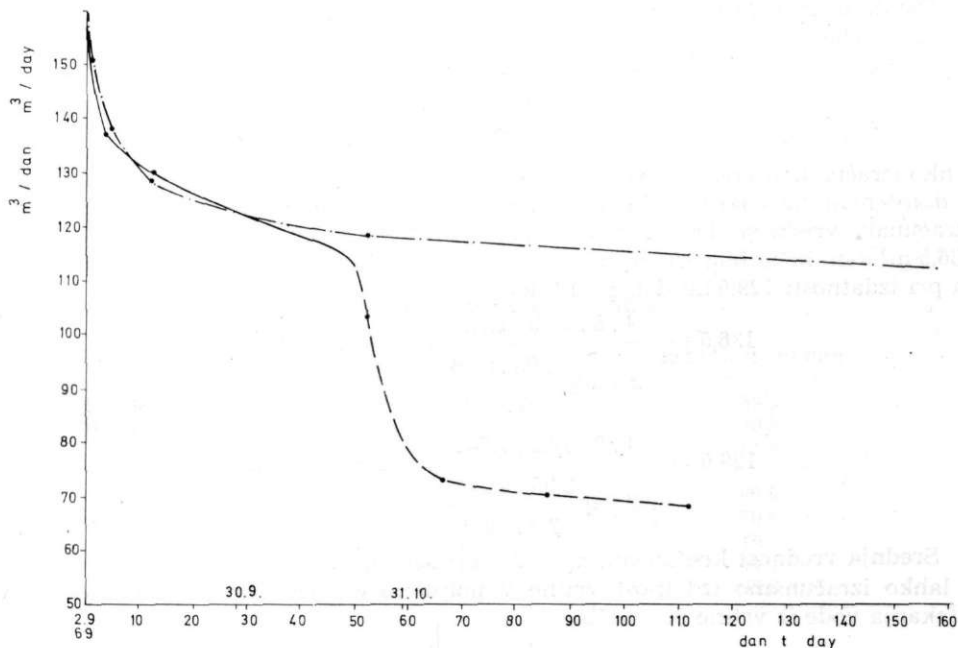
| Vrti- na | Datum meritve | Izdatnost m ³ /dan | Pritisk na ustju odprte vrtine kp/cm ² | Oprema ustja | Pritisk na ustju zaprte vrtine kp/cm ² | Opomba | | |
|-------------|----------------------|----------------------------------|---|---|---|---|------|-----------------------------|
| Nu 1 | 3. 9. 1969 | 21,6 | | prost izliv | | bistra voda | | |
| | 24. 10. 1969 | 19,9 | | | | bistra voda | | |
| | 4. 11. 1969 | presušila | | | | | | |
| Nu 3 | 24. 9. 1969 | 36 | | vrelčna cev 3/4" | | bistra voda | | |
| | 24. 10. 1969 | 33,8 | | | | | | |
| | 6. 11. 1969 | 35,3 | | | | | | |
| | 26. 11. 1969 | 33,8 | | | | | | |
| | 23. 12. 1969 | 31,7 | | | | | | |
| Nu 4 | 24. 9. 1969 | 60,7 | | vrelčna cev brez šobe brez šobe šoba 35 mm | | voda izteka enakomerno | | |
| | 24. 10. 1969 | 70,8 | | | | | | |
| | 6. 11. 1969 | 76,0 | 0,15 | | | | | |
| | 27. 11. 1969 | 123,6 | 1,05 | | šoba 10 mm | | 1,18 | voda izteka neenakomerno |
| | | 94,2 | 1,05 | | šoba 10 mm | | | voda izteka enakomerno |
| Nu 5 | 23. 12. 1969 | 97,8 | 1,1—1,3 | šoba 10 mm | | voda nosi nekoliko peska | | |
| | voda se malo preлива | | | | | | | |
| Nu 7 | 6. 9. 1969 | 136,5 | | brez šobe brez šobe brez šobe brez šobe šoba 25 mm šoba 10 mm brez šobe | 1,23 | bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda | | |
| | 14. 9. 1969 | 129,6 | | | | | | |
| | 24. 10. 1969 | 103,6 | | | | | | |
| | 6. 11. 1969 | 73,5 | | | | | | |
| | 27. 11. 1969 | 86,4 | 0,11 | | | | | |
| | | 60,4 | | | | | | |
| Nu 8 | 23. 12. 1969 | 68,3 | | | | | | |
| | 15. 10. 1969 | 69,2 | | brez šobe brez šobe brez šobe brez šobe šoba 10 mm brez šobe | 0,74 | bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda bistra voda | | |
| | 24. 10. 1969 | 64,8 | | | | | | |
| | 6. 11. 1969 | 51,8 | | | | | | |
| | 27. 11. 1969 | 66,5 | 0,13 | | | | | |
| | 44,3 | 0,18 | | | | | | |
| Nu 9 | 23. 12. 1969 | 41,4 | | | | | | |
| | 27. 10. 1969 | 397 | | brez šobe brez šobe brez šobe šoba 35 mm šoba 25 mm šoba 10 mm šoba 17 mm | 0,8 | motna voda iztekajoča voda je bistra iztekajoča voda nosi pesek iztekajoča voda nosi nekol. peska | | |
| | 6. 11. 1969 | 570 | | | | | | |
| | 13. 11. 1969 | 337 | | | | | | |
| | 27. 11. 1969 | 414 | 0,45 | | | | | |
| | | 277 | 0,65 | | | | | |
| | 66,2 | 0,45 | | | | | | |
| | 138 | 0,75 | | | | | | |

Iz podatkov v tabeli 1 vidimo, da je izdatnost novo izvrtanih vrtin Nu 7, Nu 8 in Nu 9 v začetnem obdobju (približno 54 dni po zajetju vode) hitro in

močno padala, kasneje pa se je le še malo zmanjševala. Kot primer naj navedemo, da je izdatnost vrtine Nu 7 v času od 2. 9. 1969, ko je bila voda zajeta, do 24. 10. 1969 padla za 51 m³/dan. Nato se je izdatnost zmanjševala mnogo počasneje, saj se je na primer od 27. 11. 1969 do 23. 12. 1969 zmanjšala le še za 2.45 dm³/dan. Najlepše je vidno padanje izdatnosti vrtine Nu 7 iz diagrama na sliki 1. V diagramu smo prikazali tudi teoretično krivuljo padanja izdatnosti v odvisnosti od časa.

Teoretično smo izračunali padanje izdatnosti vrtine Nu 7 v odvisnosti od časa po enačbi ruskega avtorja Pilatovskega, ki je nekoliko priredil Theisovo in Jacobovo enačbo. Enačba velja za vodonosno plast nemejene razsežnosti ter pri stalno enaki depresiji

$$Q = 2 \cdot m \cdot s \cdot k \cdot G (\gamma)$$



- — — — — IZDATNOST VRTINE NU 7, RAČUNANA PO ENAČBI PILATOVskega
YIELD OF BOREHOLE NU 7, CALCULATED AFTER THE PILATOVSKI EQUATION
- — — — — IZDATNOST VRTINE NU 7 BREZ VPLIVA VRTINE NU 9 IN PO VPLIVU VRTINE NU 9
YIELD OF BOREHOLE NU 7 WITHOUT INFLUENCE OF BOREHOLE NU 9 AND UNDER
INFLUENCE OF THE OWERFLOWING BOREHOLE NU 9

Sl. 1. Krivulja izdatnosti vrtine Nu 7 v Nuskovi
Fig. 1. Diagram showing the yield of borehole Nu 7 at Nuskova

Pri vrednosti $\frac{r}{4at} < 0,05-0,1$ ima funkcija

$G(\gamma)$ vrednost $\frac{2}{\ln \frac{2,25 a \cdot t}{r^2}}$, enačba pa preide v obliko:

$$Q = 2 \cdot m \cdot s \cdot k \cdot \frac{2}{\ln \frac{2,25 a \cdot t}{r^2}}$$

a = koeficient piezoprovodnosti (v ruski literaturi) = $\frac{k \cdot m}{\beta}$

β = koeficient elastične izdatnosti vodonosne plasti
 t = čas v dnevih od začetka iztekanja vode iz vrtine.

Ostale oznake so iste kot v Dupuitovi enačbi.
 Iz enačbe

$$Q = \frac{4 \cdot m \cdot s \cdot k}{2,3 \log \frac{2,25 a \cdot t}{r^2}}$$

lahko izračunamo vrednost koeficienta a , ki je ne poznamo, po podatkih meritev v določenem času po začetku iztekanja vode iz vrtine. V našem primeru smo izračunali vrednost koeficienta a za vrtino Nu 7, in sicer pri izdatnosti 136,5 m³/dan, ki je bila izmerjena po 4 dneh od začetka iztekanja vode iz vrtine in pri izdatnosti 129,6 m³/dan po 12 dneh.

$$136,5 = \frac{4 \cdot 8 \cdot 12,3 \cdot 1,78}{2,3 \log \frac{2,25 \cdot a \cdot 4}{2,5 \cdot 10^{-3}}} \quad a = 2644 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$129,6 = \frac{4 \cdot 8 \cdot 12,3 \cdot 1,78}{2,3 \log \frac{2,25 \cdot a \cdot 12}{2,5 \cdot 10^{-3}}} \quad a = 2075 \text{ m}^2/\text{dan}$$

Srednja vrednost koeficienta $a = 2359 \text{ m}^2/\text{dan}$. Iz znane vrednosti koeficienta a lahko izračunamo izdatnost vrtine v poljubno dolgem obdobju po začetku iztekanja vode iz vrtine po enačbi

$$Q = \frac{4 \cdot m \cdot s \cdot k}{2,3 \log \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}}$$

Enačba velja le za primer, da voda izteka iz vrtine brez prekinitev in da je vodonosna plast neomejena.

Izračunane izdatnosti vrtine Nu 7 v odvisnosti od časa smo prikazali tudi v tabeli 2.

Iz slike 1 in tabele 2 vidimo, da se teoretične in merjene vrednosti v začetku zelo dobro ujemajo, potem pa ne več, kar je pripisati vplivu sosednje vrtine Nu 9, v kateri je bila mineralna voda zajeta 50 dni kasneje kot v vrtini Nu 7.

Tabela 2 kaže, da bi se izdatnost vrtine Nu 7 zmanjšala po 1 letu za 31 %, po 10 letih pa 38 % in po 100 letih za 44 %, seveda le v primeru, če bi bila vodonosna plast neomejena. Če se vodonosna plast izklinja, bi bilo zmanjševanje izdatnosti hitrejše, v primeru, da se nekje napaja, pa počasnejše.

Za vrtino Nu 4 teoretično ni mogoče zanesljivo izračunati padanja izdatnosti v odvisnosti od časa, kajti zaradi mehurčkov plina CO₂, ki jih vsebuje mineralna voda, ne vemo, za koliko se zniža piezometrična gladina. Poleg tega znižanje ni enakomerno zaradi neenakomernega dotoka plina CO₂.

Tabela 2
Izdatnost vrtine Nu 7 v odvisnosti od časa

| Čas po pričetku iztekanja vode iz vrtine (v dnevih) | Teoretična izdatnost vrtine v m ³ /dan | Merjena izdatnost vrtine v m ³ /dan |
|---|---|--|
| 1 | 150,5 | |
| 4 | 137,3 | 136,5 |
| 12 | 128,5 | 129,6 |
| 52 | 118,2 | 103,7 |
| 182 | 110,7 | |
| 365 (1 leto) | 107,0 | |
| 3.650 (10 let) | 96,3 | |
| 36.500 (100 let) | 87,3 | |

Tabela 3
Merjena izdatnost vrtine Nu 4

| Datum meritve | Oprema ustja vrtine | Izdatnost m ³ /dan |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| 19. 9. 1968 | vrelčna cev | 53,3 |
| 29. 10. 1968 | vrelčna cev | 50,3 |
| 19. 11. 1968 | vrelčna cev | 51,8 |
| | vrtina zaprta | |
| 24. 9. 1969 | vrelčna cev | 60,5 |
| 24. 10. 1969 | prost iztok (neenakomeren) | 70,8 |
| 6. 11. 1969 | prost iztok | 76,1 |
| 27. 11. 1969 | šoba 10 mm | 94,2 |
| 23. 12. 1969 | šoba 10 mm | 97,8 |

Tabela 4
Merjena izdatnost vrtine Nu 3

| Datum meritve | Oprema ustja vrtine | Izdatnost m ³ /dan |
|---------------|---------------------|-------------------------------|
| 19. 9. 1968 | vrelčna cev | 30,3 |
| 29. 10. 1968 | vrelčna cev | 28,8 |
| 19. 11. 1968 | vrelčna cev | 26,8 |
| 24. 9. 1969 | vrelčna cev | 36 |
| 24. 10. 1969 | vrelčna cev | 33,8 |
| 6. 11. 1969 | vrelčna cev | 35,3 |
| 26. 11. 1969 | vrelčna cev | 32,8 |
| 23. 12. 1969 | vrelčna cev | 31,7 |

Tabela 5
Merjena izdatnost vrtine Nu 9

| Datum meritve | Oprema ustja vrtine | Izdatnost (m ³ /dan) |
|---------------|---------------------|---------------------------------|
| 23. 10. 1969 | prost iztok | 604 |
| 27. 10. 1969 | prost iztok | 397 |
| 6. 11. 1969 | prost iztok | 570 |
| 13. 11. 1969 | prost iztok | 337 |
| 27. 11. 1969 | šoba 35 m | 414 |
| 23. 12. 1969 | šoba 17 m | 138 |

Primerjava dosedanjih meritev izdatnosti ni mogoča, ker je bila vrtina v letu 1968 dušena z vrečno cevjo, nato je bila zaprta ter je bila ponovno odprta 3. 9. 1969, pri čemer se je izdatnost nekoliko povečala. V oktobru 1969 je bila odstranjena vrečna cev in je voda svobodno iztekala, pri čemer se je izdatnost vrtine povečala, medtem ko je bilo iztekanje vode neenakomerno. Zaradi boljše preglednosti podajamo merjene izdatnosti vrtine Nu 4 v tabeli 3.

Vrtina Nu 3 je odprta neprekinjeno od junija 1968 ter dušena z vrečno cevjo. Podatki meritev kažejo, da je bilo padanje izdatnosti zelo majhno, občasno pa se je v deževnem obdobju izdatnost celo povečala. Podatke o izdatnosti Nu 3 kaže tabela 4.

Tabela 4 kaže, da je nihanje izdatnosti majhno. Verjetno niha izdatnost v odvisnosti od padavin, oziroma zvišanja gladine podtalne vode v vrhnji prodni plasti, iz katere se horizont mineralne vode napaja. Sorazmerno stalno enakomerno izdatnost vrtine je pripisati močnemu dušenju vrtine. Če bi bila vrtina odprta do največje možne zmogljivosti, bi izdatnost verjetno padala podobno kot v vrtini Nu 7.

V vrtini Nu 9 je bila zajeta mineralna voda šele 23. 10. 1969. Začetna izdatnost vrtine je bila 604 m³/dan. Nato je izdatnost hitro in neenakomerno padala zaradi neenakomernega dotoka plina in pripiranja ventila na ustju vrtine. Meritve izdatnosti smo prikazali v tabeli 5.

Iz tabele 5 vidimo, da je izdatnost vrtine padla v času od 23. 10. 1969 do 13. 11. 1969, tj. v 21 dneh, skoraj za 45 %, od 604 m³/dan na 337 m³/dan. Padanje izdatnosti te vrtine smo poizkusili računsko obdelati po enačbi P i l a t o v s k e g a

$$Q = \frac{4 \cdot m \cdot s \cdot k}{2,3 \log \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}}$$

Za koeficient piezoprevodnosti a smo obdržali isto vrednost kot pri vrtini Nu 7, medtem ko je vrednost koeficienta prepustnosti k večja (vodonosna plast je tanjša, izdatnost vrtine pa večja kot pri Nu 7). Depresija s v vrtini Nu 9 ni znana, ker vsebuje mineralna voda plin CO₂. Zato je izdatnost vrtine znatno večja kot bi bila pri navadni arteški vodi, s tem pa je tudi depresija večja, ki pa je v vrtini ni mogoče meriti. Depresijo smo izračunali po T h e i s o v i in J a c o b o v i enačbi

$$s = \frac{0,183 Q}{k_1 \cdot m} \cdot \log \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}$$

V enačbo smo vstavili vrednost $Q = 337 \text{ m}^3/\text{dan}$, ki je bila izmerjena 21 dni po začetku iztekanja vode iz vrtine. Vrednost koeficienta k_1 v vrtini Nu 9 smo izračunali iz razmerja $k \cdot m = k_1 \cdot m_1$ (k je vrednost koeficienta prepustnosti v vrtini Nu 7).

$$1,78 \cdot 8 = k_1 \cdot 4,5 \qquad k_1 = 3,14 \text{ m/dan}$$

$$s = \frac{0,183 \cdot 337}{3,14 \cdot 4,5} \cdot \log \frac{2,25 \cdot 2359 \cdot 21}{0,0025} = 33,5 \text{ m}$$

Z znano vrednostjo koeficientov in parametrov k , s , m in a lahko izračunamo Q po poljubno dolgem času od začetka iztekanja vode iz vrtine (pri stalno enaki depresiji in neomejeni vodonosni plasti). Teoretično izračunane vrednosti Q (po enačbi *Pilatovskega*)

$$Q = \frac{4 \cdot m \cdot s \cdot k}{2,3 \log \frac{2,25 a \cdot t}{r^2}}$$

podajamo v tabeli 6.

Tabela 6
Teoretična izdatnost vrtine Nu 9

| Čas po pričetku iztekanja vode iz vrtine (v dnevih) | Teoretična izdatnost vrtine (v m^3/dan) |
|---|--|
| 1 | 436 |
| 60 | 340 |
| 182 | 321 |
| 365 | 310 |
| 3650 10 let) | 279 |
| 36 500 (100 lea) | 253 |

Po podatkih tabele 6 se teoretično zmanjša izdatnost vrtine v 10 letih za 36 %, v 100 letih pa za 42 %, seveda v primeru neomejene vodonosne plasti.

Meritve po zajetju mineralne vode v vrtini Nu 9 so pokazale, da se depresijski lijak sorazmerno hitro širi in zajame dokaj veliko območje okoli vrtine. V vrtini Nu 7, ki je oddaljena od vrtine Nu 9 približno 185 m, je padla izdatnost v 14 dneh po zajetju vode v vrtini Nu 9 za $30 \text{ m}^3/\text{dan}$ (29 %), medtem ko se je manj izdatna in plitveje zajeta vrtina Nu 1 (210 m daleč) posušila.

Iz podatkov meritev in opazovanj sklepamo, da se depresijski lijaki vrtin hitro širijo in v sorazmerno kratkem času med seboj prekrijejo. Depresijski lijaki se v glavnem izoblikujejo že približno po 20 dneh od začetka iztekanja vode iz vrtine, vendar dosežejo svojo končno obliko šele po mnogih letih, ali pa je sploh ne dosežejo. Depresijski lijaki se v prvih 20 dneh zelo hitro širijo in poglobljajo, kasneje pa izredno počasi. S tem v zvezi pada izdatnost vrtin, ki vplivajo ena na drugo v začetku zelo hitro, kasneje pa zelo počasi.

Vrtina Nu 8 je bila izvrtana zunaj ožjega vrelnega območja, približno 640 m južno od vrtine Nu 1. Vrtina je v globini 91 do 99 m šla skozi vodonosno plast peščenega proda z arteško vodo. Izdatnost tega vodnega horizonta je bila v začetku $69 \text{ m}^3/\text{dan}$, piezometrična gladina pa 7,4 m nad ustjem vrtine. Kemična analiza je pokazala, da vsebuje voda pod 1000 mg/l raztopljenih mineralov, prostega CO_2 pa le 200 g in je torej ne moremo imeti za mineralno vodo. Zato nismo računali izdatnosti v odvisnosti od časa.

Fizikalne in kemične lastnosti mineralne vode

Fizikalno kemične lastnosti mineralne vode, ki je bila zajeta z vrtino Nu 9, so zelo podobne vodi iz vrtin Nu 4 in Nu 5, tako po važnejših kationih Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ in Na^+ kot tudi anionih HCO_3^- , SO_4^{--} in Cl^- . Razlika je v železu, ki ga voda iz vrtine Nu 9 skoraj ne vsebuje. Skupni suhi ostanek je prav tako enak v vrtinah Nu 4, Nu 5 in Nu 9. Podobne so tudi vrednosti pH (6,4 do 6,5), raztopljenega prostega CO_2 (1660 do 1960 mg/l) in temperature, ki niha od 15,1 do 15,4 °C.

Voda iz vrtine Nu 7 se razlikuje od drugih vrtin, čeprav je v vrtini Nu 7 zajet isti vodni horizont kot v vrtinah Nu 4, Nu 5 in Nu 9. Znatno manj je suhega ostanka (1105 mg/l), raztopljenega prostega CO_2 je le 1000 mg/l, vrednost pH je 6,6, temperatura je nekoliko nižja, 14,6 °C, železa pa je zelo malo.

Po klasifikaciji, ki je v hidrogeološki literaturi najbolj pogostna, uvrščamo vodo iz vrtin Nu 4, Nu 7 in Nu 9, ki prihaja iz poroznega tortonskega litotamnjskega peščenjaka, v ogljikovodioksidne natrijevokalcijeve sulfatnohidrokarbonatne vode. Voda iz vrtine Nu 3, ki priteka iz sarmatskega peska, se razlikuje od vode iz vrtin Nu 4, Nu 7 in Nu 9. Vodo iz vrtine Nu 3 uvrščamo v ogljikovodioksidne natrijevokalcijeve kloridnohidrokarbonatne vode. Razlika je tudi glede železa, ki ga je v tej vrtini 8,21 mg/l, medtem ko ga je v vrtinah Nu 4, Nu 7 in Nu 9 le 0,02 do 1,69 mg/l. Suhega ostanka in raztopljenega prostega CO_2 je znatno več kot v vrtinah Nu 4, Nu 7 in Nu 9, pa tudi temperatura je višja (16,8 °C), kar pa je razumljivo, kajti voda v tej vrtini je zajeta znatno globlje kot v ostalih vrtinah.

Ocena in približen račun količin mineralne vode

Iz hidrogeološkega opisa vidimo, da je na vrelnem območju v Nuskovi pomemben le horizont mineralne vode v poroznem litotamnjskem peščenjaku in apnencu. Ta je zajet z vrtinami Nu 4, Nu 7 in Nu 9. Skupna največja možna zmogljivost vseh vrtin, ki pridejo v poštev za izkoriščanje, je po podatkih meritev z dne 27. 11. 1969 641 m³/dan. Zaradi preglednosti podajamo največje možne izdatnosti vrtin v tabeli 7.

Tabela 7

Izdatnost vrtin v Nuskovi

| Vrtina | Izdatnost (m ³ /dan) | Oprema ustja vrtine |
|--------|---------------------------------|-------------------------|
| Nu 3 | 32,8 | vrelčna cev ϕ 3/4" |
| Nu 4 | 123,5 | šoba 35 mm |
| Nu 7 | 70,8 | prost izliv |
| Nu 9 | 414 | šoba 35 mm |
| Skupaj | 641,1 | |

Tabela 7 kaže, da je največja zmogljivost vseh vrtin 641 m³/dan. Vrtini Nu 4 in Nu 9 sta dušeni s šobama 10 mm in 17 mm, da ne bi voda iznašala prevelikih količin peska. S tem se je izdatnost vrtine Nu 4 zmanjšala na 98 m³/dan, iz-

datnost vrtine Nu 9 pa na 138 m³/dan. Skupna izdatnost vrtin se je zaradi tega zmanjšala na 339,6 m³/dan, pri čemr je iz vseh vrtin tekla popolnoma bistra mineralna voda z zelo majhno količino peska.

Za načrtovanje pridobivanja mineralne vode je posebno pomembna prognoza izdatnosti posameznih vrtin v daljšem razdobju. Iz približnih računov vidimo, da bo izdatnost vrtine Nu 3 padla po 10 letih na 27,4 m³/dan, izdatnost vrtine Nu 7 (ob upoštevanju vpliva vrtine Nu 9) na 77 m³/dan, izdatnost dušenih vrtin Nu 4 in Nu 9 pa na 85 m³/ dan, oziroma 119 m³/dan. Skupna izdatnost vseh vrtin skupaj bi bila torej po 10 letih 308 m³/dan.

Za primerjavo navajamo v tabeli 8 merjene izdatnosti vrtin v letih 1969 do 1971.

Tabela 8
Merjena izdatnost vrtin v Nuskovi

| Vrtina | Izdatnost m ³ /dan | | | | | | | |
|--------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | 23. 12. 1969 | 19. 5. 1970 | 16. 7. 1970 | 18. 8. 1970 | 7. 10. 1970 | 28. 4. 1971 | 18. 8. 1971 | 10. 12. 1971 |
| Nu 3 | 31,7 | 32 | 31,4 | 32 | 31,2 | 30 | 26 | 25,5 |
| Nu 4 | 98 | 91,7 | 83,5 | 76 | 59,7 | 86,4 | 79 | 108 |
| Nu 7 | 68,3 | 74,3 | 60 | 60 | 58,8 | 51,8 | 33,8 | 43,2 |
| Nu 9 | 138 | 130 | 120 | 121 | 121 | 112,5 | 101,5 | 95 |
| Skupaj | 336,0 | 328,0 | 294,9 | 289 | 270,7 | 280,7 | 240,3 | 271,7 |

Tabela 8 kaže, da je izdatnost vrtin hitreje padala, kot je pokazal teoretični račun. To je pripisati hitremu širjenju depresijskih lijakov vrtin in njihovemu medsebojnemu vplivu. Poleg tega se verjetno vodonosna plast litotamnijskega peščenjaka vsaj delno izklinja. Po drugi strani pa kaže sezonsko povečanje izdatnosti vrtin Nu 7 in Nu 3, da se vodonosna plast napaja iz vrhnje podtalne vode. Kadar se njena gladina dvigne, se poveča tudi izdatnost vrtine. Napajanje pa verjetno ni posebno izdatno, kajti iz tabele vidimo, da izdatnost vrtin pada, kljub občasnim zvečanjem.

Sklep

Raziskave v Nuskovi kažejo, da vsebuje mineralno vodo porozna plast litotamnijskega peščenjaka in apnenca. Ta mineralna voda je zajeta z vrtinami Nu 4, Nu 7 in Nu 9. V vrtini Nu 3 je zajeta plast vodonosnega sarmatskega peska, ki je severno od vrtine v neposredni zvezi z litotamnijskim peščenjakom.

Plast litotamnijskega peščenjaka je v vrtinah Nu 7 in Nu 9 v globini 43, oziroma 45 m, v vrtini Nu 4, okrog 200 m južneje, v globini 64 m ter v vrtini Nu 6 v globini 179 m. Sarmatski pesek je po podatkih Nu 3 v globini 126 m.

Dotoke mineralne vode v vrtinah Nu 7 in Nu 9 smo računali po enačbi P i - l a t o v s k e g a, ki velja za nestacionaren dotok vode pod pritiskom iz neomejeno velike vodonosne plasti, pri stalno enaki depresiji. Podatki računa kažejo, da se dotok po enem letu zmanjša za 28 do 31 % od začetne količine, po 10 letih

pa za 36 do 38 %. Zaradi nihanja gladine podtalne vode v vrhnji prodni vodonosni plasti, s katero je horizont mineralne vode v neposrednem stiku, zmanjševanje izdatnosti ne bo zvezno. To potrjujejo tudi opazovanja izdatnosti vrtin Nu 3 in Nu 7, ki se je v suši zmanjševala, v deževnem obdobju pa povečala.

Vrtine Nu 4, Nu 7 in Nu 9 so izvrtane v majhnih medsebojnih razdaljah 180 do 270 m in se zato njihovi depresijski lijaki prekrivajo. Opazovanja na vrtini Nu 7 (potem ko je bila izvrtana vrtina Nu 9) kažejo, da se je depresijski vpliv vrtine Nu 9 zelo hitro razširil na okolico ter povzročil zmanjšanje izdatnosti vrtine Nu 7. Izdatnost Nu 7 se je zaradi vpliva sosednje vrtine Nu 9 najbolj znižala v prvih 20 dnevih, kasneje se je zmanjševala mnogo počasneje.

Po podatkih meritev dne 27. 11. 1969 je največja izdatnost vseh vrtin skupaj 641 m³/dan mineralne vode. Pri tej količini iznaša voda iz vrtin pesek, zato je treba vrtine dušiti s šobami, vrelčnimi cevmi ali pa s pripiranjem ventilov, kar pa zaradi korozije ni priporočljivo. V našem primeru smo dušili vrtini Nu 4 in Nu 9 s šobami Ø 10 mm, oziroma 17 mm, vrtino Nu 3 z vrelčno cevjo Ø 3/4" medtem ko je voda iz vrtine Nu 7 svobodno iztekala. Izdatnost na ta način dušenih vrtin je bila po podatkih meritev dne 27. 11. 1969 339,6 m³/dan.

Za načrtovanje pridobivanja mineralne vode je posebno važna prognoza izdatnosti vrtin za nekaj desetletij naprej. Po teoretičnem računu je pričakovati, da se bo v 10 letih znižala na 308 m³/dan, v 100 letih pa na 275 m³/dan.

Opozarjamo, da še ne poznamo razsežnosti vodonosne plasti litotamnijskega peščenjaka, ki se verjetno izklinja v nizvodni smeri, morda pa tudi v vzvodni. Vodnosni horizont je torej omejen vsaj z ene strani, zato naš račun zmanjševanja izdatnosti ni povsem točen, kar potrjujejo tudi opazovanja v letih 1969 do 1971. Zaradi izklinjanja vodonosne plasti proti jugu bo izdatnost padala močneje kot kaže račun.

Po kemični sestavi so si vode v vrtinah Nu 4, Nu 7 in Nu 9 zelo podobne ter pripadajo tipu ogljikovodioksidnih natrijevokalcijevih sulfatnohidrokarbonatnih vod. Vsebujejo le 0,02 do 1,69 mg/l železa ter 0,4 do 0,61 mg/l mangana. Voda iz vrtine Nu 3 pa je ogljikovodioksidnega natrijevokalcijevega kloridnohidrokarbonatnega tipa ter vsebuje 8,21 mg/l železa in 0,74 mg/l mangana. Zaradi večje količine železa vode iz vrtine Nu 3 verjetno ne bo mogoče neposredno nalivati v steklenice, ne da bi prej odstranili železo, kar pa bodo pokazale nadaljnje preiskave.

Po podatkih analiz vode ne vsebujejo zdravju škodljivih bakterij in ustrezajo predpisom, ki veljajo za pitno vodo.

Predlogi za nadaljevanje raziskav

V naslednjih fazah raziskav bo treba z vrtinami določiti razsežnost vodonosne plasti litotamnijskega peščenjaka ter območje, kjer se horizont mineralne vode stika s podtalno vodo. V ta namen bo treba izvrtati v dolini Ledave približno 200 m severno od vrtine Nu 7 vsaj eno vrtino do litotamnijskega peščenjaka. Prav tako bo treba izvrtati eno vrtino 150 do 200 m proti severovzhodu od vrtine Nu 7.

Enako kot proti severu, bi bilo treba raziskati razširjenost vodonosnega litotamnijskega peščenjaka tudi proti jugu. V ta namen bi bilo treba poglobiti

vrtno Nu 8 do globine 340 m, kjer se po predvidevanju nahaja litotamnijski peščenjak, oziroma podlaga terciarnih plasti.

Ugotoviti bo treba s podrobnim geološkim kartiranjem, če se plast litotamnijskega peščenjaka nadaljuje tudi v hribovju nad vrtno Nu 9 v smeri proti Ocinju in v dolini Ledave. Kartiranje naj bi zajelo okrog 3 km² ozemlja. Površinsko kartiranje in vrtanje bo pokazalo, na kakšni površini se razprostira plast vodonosnega litotamnijskega peščenjaka, kar je potrebno za oceno statičnih zalog mineralne vode v njej ter pogojev napajanja in obnavljanja te vode.

Pri dosedanjih preiskavah je bila mineralna voda zajeta le s perforiranimi cevmi, ovitimi z medeninasto mrežico, brez filtrskega zasipa. Te vrtnine so torej piezometriške in niso povsem primerne za izkoriščanje, kajti pri polni zmogljivosti izteka skupaj z vodo tudi pesek. V primeru, da bi se odločili za pridobivanje mineralne vode, bi bilo treba v neposredni bližini vrtin Nu 3, Nu 4, Nu 7 in Nu 9 izvrtati vrtnine večjega premera ter vodo zajeti s cevmi, odpornimi proti agresivnosti vode ter opremljenimi s filtrskim zasipom. Na ta način bo mogoče preprečiti iznašanje peska tudi pri polni zmogljivosti vrtin.

Hydrogeological Relations of the Mineral Water Springs of Nuskova

Ljubo Žlebnik

Geološki zavod, Ljubljana, Dimičeva 16

Mineral water has been utilized in Nuskova already in the beginning of this century. Later the springs were abandoned. Exploration was carried out again in 1967/68. Nine bore holes were drilled. They proved that the aquifer is a layer of lithotamnion sandstone and limestone of Tortonian age, that was reached by the boreholes in different depths from 45 to 179 metres.

The overlaying Sarmatian sandstone is waterbearing as well. On the basis of pumping tests, the author calculated the yield, as well as the theoretically expected decrease of this yield after ten and after hundred years as well.

The inflow of mineral water to the boreholes Nu 7 and Nu 9 has been calculated by the Pilatovski equation for non-stationary water inflow under pressure and from an aquifer of unlimited lateral extent and at a constant draw-down. According to this calculation, the inflow should decrease after one year for 28 to 31 % of its initial value, and after ten years for 36 to 38 %. Due to oscillations of the ground water level in the upper gravelly aquifer, that is in direct connection with the mineral water horizon, the decrease of the yield will not be without interruption. The boreholes Nu 3 and Nu 7 confirmed this assumption, as their yield decreased during the dry season, and increased during the rains.

The boreholes Nu 4, Nu 7 and Nu 9 have been drilled rather nearly to each other in distances of 180 to 270 meters, therefore their depression cones overlap. Observations of the output of Nu 7. after bore Nu 9 had been drilled, show that the influence of the depression in Nu 9 expanded very quickly into its surroundings, and caused a decrease in yield of bore Nu 7. The output of Nu 7 decreased most perceptibly — due to the influence of the nearby borehole Nu 9 — in the first 20 days, later the decrease of its output became very much attenuated.

According to measurements carried out on November 27th, 1969, the maximum simultaneous output of all the existing boreholes amounts to 641 cubic meters of mineral waters per day. At this output the water drawn from the boreholes carries sand, and therefore choking systems are necessary, consisting either of nozzles or of adjusted tubing, or of valves, which however suffer very much due to corrosion. In our case the boreholes Nu 4 and Nu 9 were choked by

nozzles of 10 and 17 mm diameter respectively, the borehole Nu 3 by 3/4" mineral water tubing, whereas the borehole Nu 7 was overflowing. The yield of these boreholes choked in the way as described, amounted during the day of November 27th 1969 to 339.6 cubic meters per day.

When planning exploitation of mineral water springs, a prognosis of their future yield during some tens decades of years is of high importance. Here, according to theoretical calculation, the output might decrease in ten years to 308 cubic meters per day, and in one hundred years to 275 cubic meters per day.

It has to be emphasized, that the lateral extent of the lithothamnium sandstone aquifer is not known; it most probably thins out in downstream direction, but maybe upstreams as well. The aquifer is therefore limited at least in one direction, and therefore the foregoing calculation of decrease of the output is only an approximate assessment.

Observations, carried out in 1970/71 show, that due to the thinning out of the aquifer in southern direction, the decrease of the output will be somewhat larger than that as shown by the calculation.

By chemical composition the waters of the wells Nu 4, Nu 7 and Nu 9 are closely related, and belong to the type of carbon dioxide sodium-calcium sulphate-hydrocarbonate waters. The waters contain only 0.2 to 1.69 mg/l of iron and 0.4 to 0.61 mg/l of manganese. The water from Nu 3 is of the carbon dioxide sodium-calcium chloride-hydrocarbonate type, and contains 8.21 mg/l of iron and 0.74 mg/l of manganese. Due to the higher iron content the water from Nu 3 will probably not be suitable for direct bottling, without prior removal of the iron; however that question will be solved by further studies.

According to bacteriological analyses the water does not contain injurious bacteria, and suits the current regulations for drinking water.

Literatura

Bogomolov, G. V., Silin-Bekčurin, A. J., 1959, Specialna hidrogeologija, Beograd.

Castany, G., 1963, Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.

Djurović, R., 1963, Hidrogeološka sistematizacija termomineralnih voda. Vesnik SGZ, Beograd.

Maksimov, V. M., 1967, Spravočnoe rukovodstvo hidrogeologa. NEDRA, Leningrad.

Milojević, M., 1968, Hidrogeologija, Beograd.

Todd, D. K., 1959, Ground Water Hydrology. Wiley, New York.