

UDK 553.7(497.12)=863

Geotermični model Krško-Brežiškega polja

Geothermal model for the Krško-Brežice Field

Renato Verbovšek

Geološki zavod Ljubljana, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

Območje Krško-Brežiškega polja je znano po številnih izviri termalne vode, ki se pojavljajo vzdolž južnega in zahodnega obrobja. Analize podatkov in novejša spoznanja kažejo, da prihaja do povišanih temperatur le zaradi razlike v toplotni prevodnosti med kamninami, ki zapolnjujejo sinklinalo (področje polja) in mezozojskimi karbonati v njihovi podlagi, medtem ko je toplotni tok v mejah povprečnih vrednosti. Termalno vodo ob dani geološki zgradbi pričakujemo na širšem področju v večjih globinah, plitveje pa v zaledju že znanih termalnih izvirov.

Abstract

The Krško-Brežice Field area is known for its numerous thermal springs, appearing on its southern and western margins.

Data analysis and recent interpretations indicate that the origin of elevated temperature is due solely to differences in heat conductivities between rocks infilling the syncline (of the Field) and those of the calcareous Mesozoic basis, whereas the heat-flow density is within average values. At the given geological build-up, thermal waters may be expected in greater depths for the wider Field area and in shallower depths for the hinterland areas of the already known thermal springs.

Uvod

Kot Krško-Brežiško polje označujemo področje, ki sega do Otočca na zahodu, Sotle na vzhodu, proti severu in jugu pa je omejeno s Krškim hribovjem oziroma Gorjanci.

V nadaljevanju bomo skušali predstaviti geotermične lastnosti tega področja, genezo nastanka termalnih pojavov in možnosti izkoriščanja termalne vode.

Na skoraj celotnem Krško-Brežiškem polju so dane možnosti izkoriščanja termalne vode. Le-to energetsko in balneološko trenutno izkoriščajo le v Čateških Toplicah za ogrevanje steklenjakov in v hotelu Emona v Šmarjeških Toplicah.

Ugotovljene so bile temperature vode do 64°C in izdatnosti do 40 l/s. Vode so nizko mineralizirane in primerne za neposredno rabo.

Z nadaljnjimi raziskavami bi bilo možno pridobiti dodatne količine termalne vode, ki bi jo lahko rabili za komunalno ogrevanje npr. v Brežicah, možno pa bi bilo tudi znatno povečati površine steklenjakov in njeno rabo v balneologiji.

Pregled dosedanjih geotermičnih raziskav

Celotno obravnavano področje je bilo obdelano v kompleksni raziskovalni nalogi, ki jo je financiral nekdanji Sklad Borisa Kidriča (Lapažne et al., 1974). Potekala je v petih fazah od l. 1973 do 1978 pod naslovom Raziskave območja termalnih izvirov jugovzhodne Slovenije, nosilec pa je bil Geološki zavod Ljubljana (GZL). Opravljena je bila reambulacija že znanih podatkov, dodatno pa so bile opravljene regionalne geofizikalne, hidrogeološke in tektonske raziskave. Registrirani so bili obstoječi termalni izviri, hidrogeološko so bili klasificirani tipi vodonosnikov, opravljena je bila hidrogeokemična interpretacija, z geofizikalnimi metodami in geološko-tektonsko študijo pa je bila interpretirana struktura tega območja.

Podrobneje je bilo raziskano območje Čateških Toplic in Topličnika pri Kostanjevici. Tu so bile izdelane številne raziskovalne in kaptažne vrtine. Natančneje je bilo področje Čateža obdelano v članku z naslovom Hidrogeologija Čateških Toplic (Ivanković & Nosan, 1973) in v številnih internih poročilih. Opis izvirov Topličnika je podan v več separatnih poročilih v arhivu Geološkega zavoda Ljubljana.

Raziskave na obeh področjih so se nadaljevale v letih 1985–86, in sicer z dodatnimi geofizikalnimi meritvami (Verbovšek & Ravnik, 1986) in izdelavo dveh kaptažnih vrtin globine 800 m pri Kostanjevici (Verbovšek, 1986a) in 700 m pri Mostecu (Verbovšek, 1986b).

Omenimo naj še geofizikalne meritve refleksijske seizmike v več vzporednih profilih v smeri sever–jug preko celega obravnavanega področja. Izdelala jih je Geofizika Zagreb v l. 1984 za potrebe naftnih raziskav. Z njimi je bila ugotovljena homogena sinklinalna zgradba.

Geološke in tektonske razmere

Geološka zgradba je podana na Osnovni geološki karti 1:100 000 listov Novo mesto (Pleničar et al., 1976) in Zagreb (Šikić et al., 1978).

Področje Krško-Brežiškega polja predstavlja tektonsko enoto Krške sinklinale, ki pripada v širšem pomenu jugozahodnemu delu Zagorskega terciarnega bazena. Proti jugu je omejena s horstom Gorjancev in proti severu s Posavskimi gubami. Os sinklinale poteka v smeri vzhod–zahod. Zapolnjena je s pretežno lapornimi sedimenti srednjega in zgornjega miocena. Z mlajšim pogrezanjem udorine Krškega polja je prišlo do zapolnjevanja sinklinale s pliokvartarnimi in kvartarnimi klastičnimi sedimenti. V podlagi terciarnih sedimentov se pojavljajo mezozojski karbonati – triadni dolomiti, jurski apnenci in dolomiti ter kredni laporno-apneni sedimenti, ki nastopajo predvsem v najglobljem delu obsega po interpretaciji refleksijske seizmike do okoli 1700 m.

Na obrobjih, proti severu in zahodu se pojavljajo mezozojski karbonati, ki nastopajo kot predterciarna podlaga v sinklinali.

Hidrogeološke razmere

Najmlajši prodni zasipi, ki se pojavljajo v površinskem delu, v večji debelini predvsem v severnem in vzhodnem delu polja, so izdaten vodonosnik s hladno podtalnico.

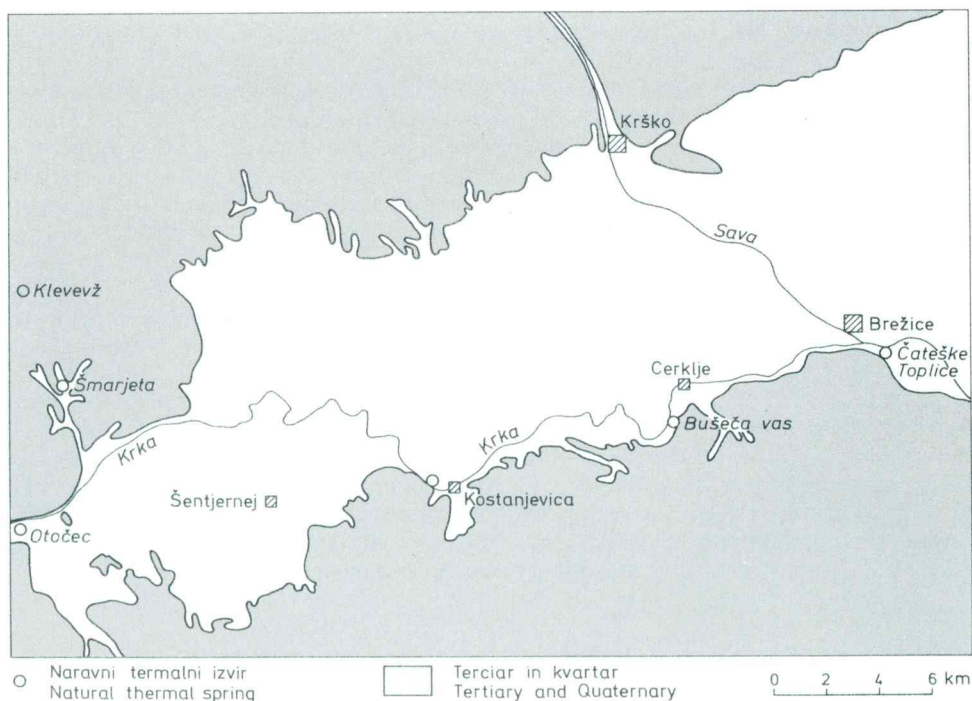
Pretežna večina terciarnih sedimentov je za vodo nepropustnih, z izjemo litotamnijskih apnencev, ki nastopajo kot lokalno omejeni vodonosniki, znani predvsem na področju Čateža. Njihova poroznost je kraškega tipa z večjimi kavernami.

Triadni dolomiti, jurski apnenci in dolomiti ter pretežni del krednih sedimentov predstavljajo izdatne vodonosnike, ki so zaradi razširjenosti in medsebojne povezanosti regionalnega pomena. Predvidevamo, da se vodonosniki s termalno vodo pod terciarjem Krško-Brežiškega polja napajajo iz mezozojskih karbonatov na obrobju.

Ob celotnem južnem obrobju pod Gorjanci se ob kontaktu terciarja z mezozoikom javlja več izdatnih hladnih ali toplih izvirov.

Pregled termalnih izvirov

Na shematski karti (sl. 1) podajamo lokacijo izvirov s povišano temperaturo vode. Pregledna karta kaže, da se izviri javljajo ob južnem in zahodnem obrobju Krško-Brežiškega polja na stiku z mezozojskimi kamninami ali v njegovi neposredni bližini.



Sl. 1. Karta termalnih izvirov v Krško-Brežiški kotlini

Fig. 1. Map of thermal springs in the Krško-Brežice valley

Najbolj vzhodni izvir je Pri Perišču v Čatežu. Voda ima pri izviru temperaturo 32°C. Okoli 7 km proti zahodu pri Bušech vasi je več izdatnih izvirov s temperaturo 27°C. Naslednji proti zahodu je izvir pri Topličniku in več izvirov v strugi Krke s temperaturo do 22°C. Na skrajnem zahodu se javlja močan izvir v strugi Krke pri Otočcu s temperaturo okoli 20°C. Končno naj nevedemo še Šmarješke Toplice s temperaturo 33°C in kraški izvir pri Klevežu s temperaturo 18–20°C.

Pregled rezultatov, dobljenih z globinskimi vrtanji

Najbolj je preiskano področje Čateža, kjer je bilo izvrtanih okoli 20 vrtin. Razen ene so vse locirane ob desnem bregu Save. Globoke so do 450 m, njih izdatnost je do 50 l/s (K-1) in temperatura do 64°C (V-12). Vrtina L-1/86 je izvrtana na levem bregu Save pri Mostecu; globoka je 700 m, njena izdatnost je 40 l/s in temperatura 61°C. Ugotovljeno je, da pada kontakt terciarja oziroma zgornje krede v krovlini z dolomitom v podlagi strmo proti severu. Največji dotoki so bili ugotovljeni ob kontaktu. Temperatura narašča od juga (od Perišča) proti severu in doseže največ 64°C. Vrtina L-1/86 kaže izrazit temperaturni obrat (sl. 2), ki kaže na tok hladnejše vode v večji globini, od juga proti severu. Po Nosanu (1973) bi bilo možno na celotnem področju Čateža izkoriščati do 120 l/s vode z zmesno temperaturo 60°C.

Z vrtino L-1/86 je potrjeno, da se visoke temperature voda nadaljujejo proti severu, proti vzhodu in zahodu pa z dosedanjimi raziskavami niso omejene. Proti jugu, torej proti obrobju, temperatura pada zaradi mešanja s hladno podtalnico v karbonatnih vodonosnikih Gorjancev.

Pri Kostanjevici je bila podrobno raziskana hidrogeološka zgradba neposredne okolice Topličnika. Proti severovzhodu je bila izvrtana vrtina SI-1/86. Pri Topličniku je bilo izvrtanih šest strukturno-kaptažnih vrtin globine 45–192 m, in dve termometrični vrtini globine 100 m. Z vrtino V-6 (45 m) je bilo v jurskem apnencu kaptiranih 40 l/s s temperaturo 27°C, kar je najvišja temperatura pri Topličniku. Vrtine so locirane ob levem in desnem bregu Krke in ugotovljeno je, da kontakt terciarja s karbonatno podlago pada strmo proti severu. To kažejo tudi geoelektrične meritve, opravljene v letih 1985 in 1986 severno in severovzhodno od Topličnika.

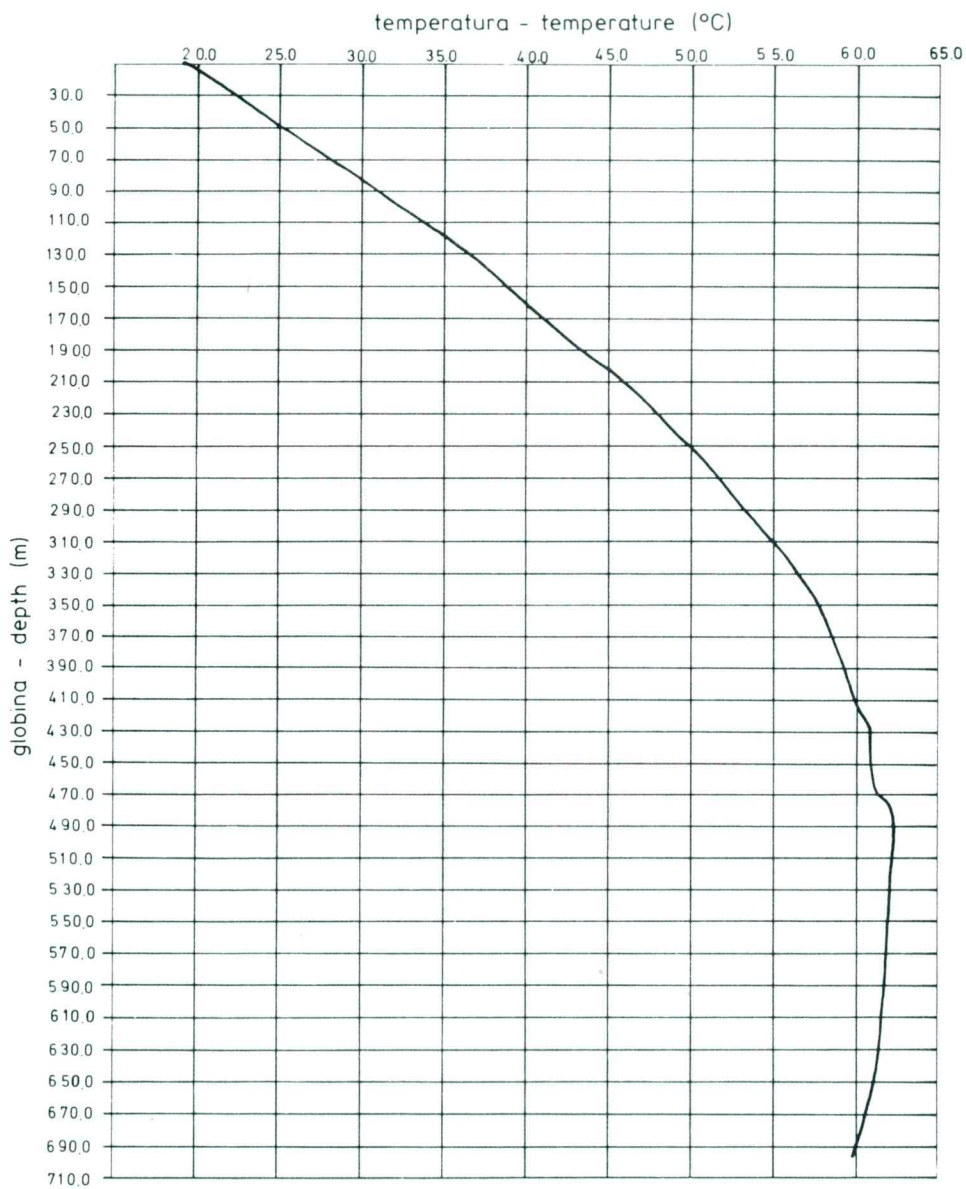
Termometrična vrtina V-7, locirana v podaljšku cone povišanih temperatur proti severu, kaže izrazito povišan temperaturni gradient (sl. 3), ostala pa je v miocenskem laporju.

V letu 1986 je bila pri Sajevcah izvrtana 800 m globoka vrtina SI-1/86 (glej sl. 4 in 5). Na njej je možno črpati 45 l/s termalne vode s temperaturo 35,5°C. Kot vodonosnik nastopa triasni apnenec, navrtan v globini 633 m. Nad njim leže miocenski laporji in karbonatni peščenjaki. Dotoki vode v vrtino so razporejeni od globine 633 m do dna.

Z globinskim vrtanjem je bilo podrobneje preiskano širše področje Šmarjeških Toplic. Izvrtanih je bilo 11 globljih vrtin do 495 m in ugotovljene najvišje temperature 34,5°C. Kot vodonosnik nastopajo mezozojski karbonati.

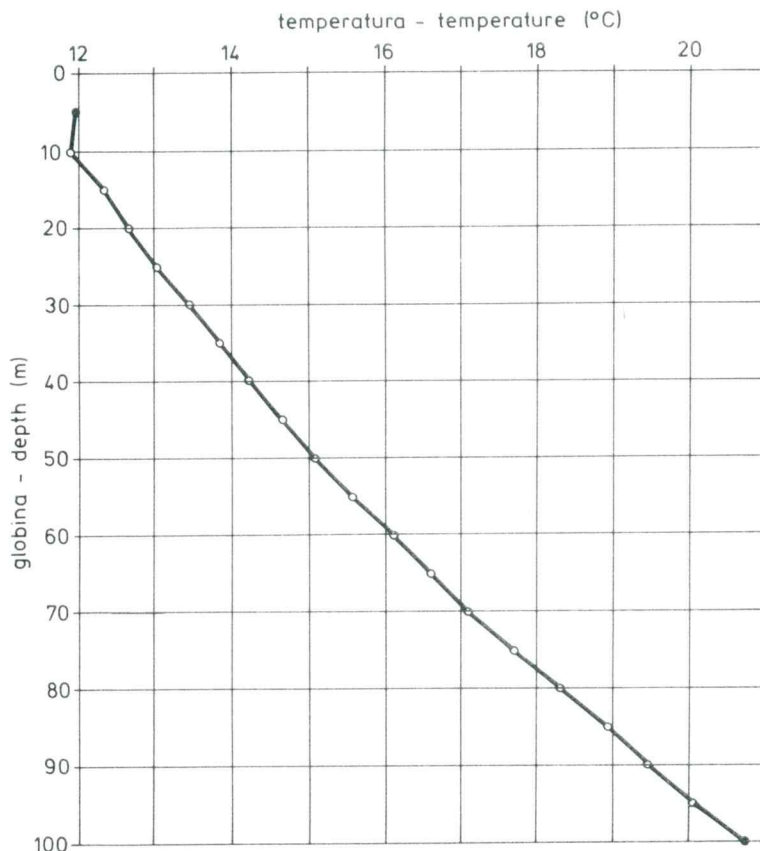
Predvideni geotermični model Krško-Brežiškega polja

Geološka in hidrogeološka zgradba Krško-Brežiškega polja predstavlja strukturo, ki je ugodna za nastopanje povišanih temperatur. Debela skladovnica miocenskih laporjev v sinklinali ima toplotno prevodnost okoli $1,7 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, karbonati



Sl. 2. Termogram vrtine L-1/86 pri Mostecu

Fig. 2. Thermogram of the borehole L-1/86 near Mostec

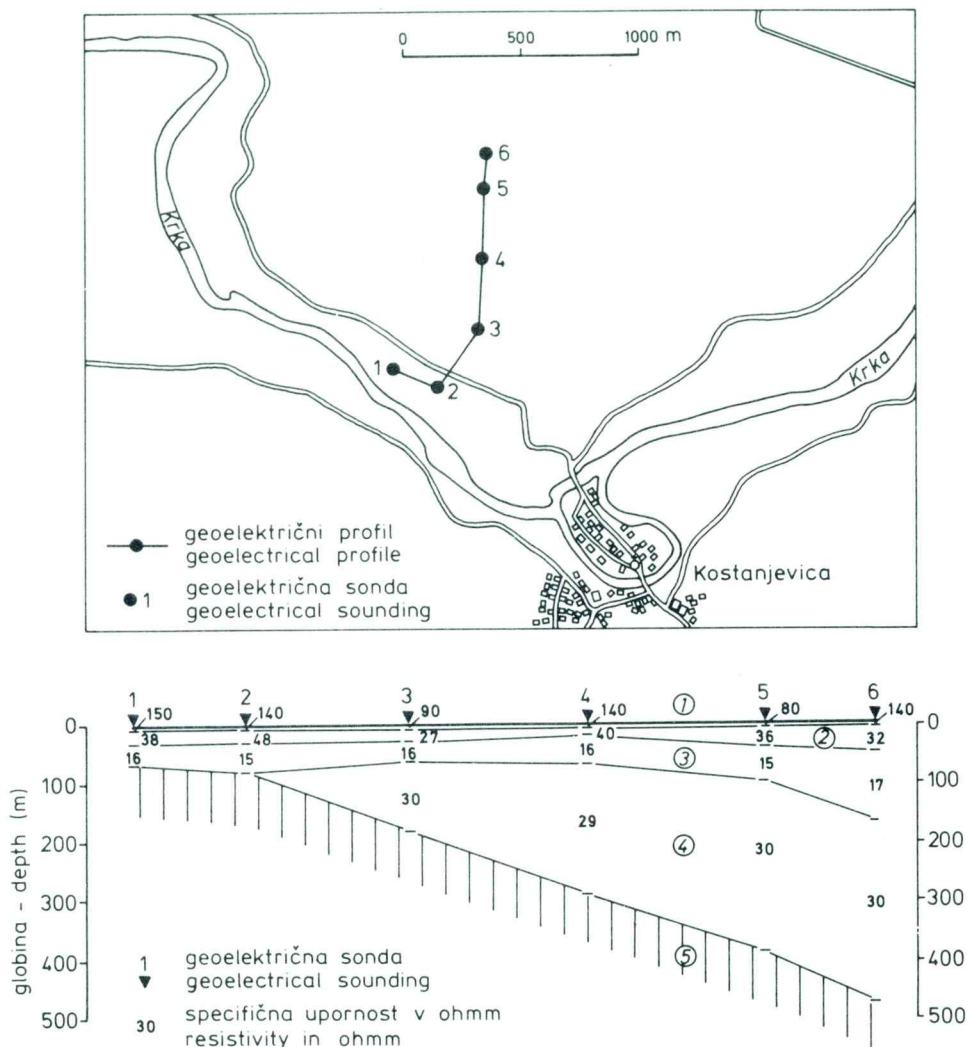


Sl. 3. Termogram vrtine V-7/85

Fig. 3. Thermogram of the borehole V-7/85

v podlagi pa okoli $4,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Ob enakem toplotnem toku je ob nižji toplotni prevodnosti temperaturni gradient v laporju povišan. To lahko ponazorimo z diagramom (sl. 6). Temperaturno distribucijo smo skušali določiti z matematičnim modelom, po metodi končnih elementov, s programom MISES 3 (sl. 7). Privzeta je debelina miocena po podatkih refleksijske seizmike. Pri konduktivnem modelu prenosa toplote je tako izračunana temperatura okoli 60°C v najglobljem delu kadunje.

Prenos toplote poteka zaradi višje vodoprepustnosti karbonatov tudi konvektivno. Topla voda se ob kontaktu lapor-karbonati dviguje ob nagnjeni podlagi proti jugu. To lahko ponazorimo s skico (sl. 8). Hladna voda teče v globljih delih proti severu in se tam segreva. Vrtine bližje obrobja imajo zato z večanjem globine do karbonatov višjo temperaturo. Ob obrobju se termalna voda meša s hladno podtalnico v karbonatih Gorjancev; širina področja mešanja je od nekaj sto metrov do 1 km pri Čatežu. Vzpostavitev navedenega pogoja toka je, da se ob obrobju javljajo termalni izviri, ki predstavljajo naravno dreniranje. Termalna voda teče od severa proti jugu v širokih »pasovih«. Ti nastopajo v Čatežu, Bušeci vasi, Topličniku in

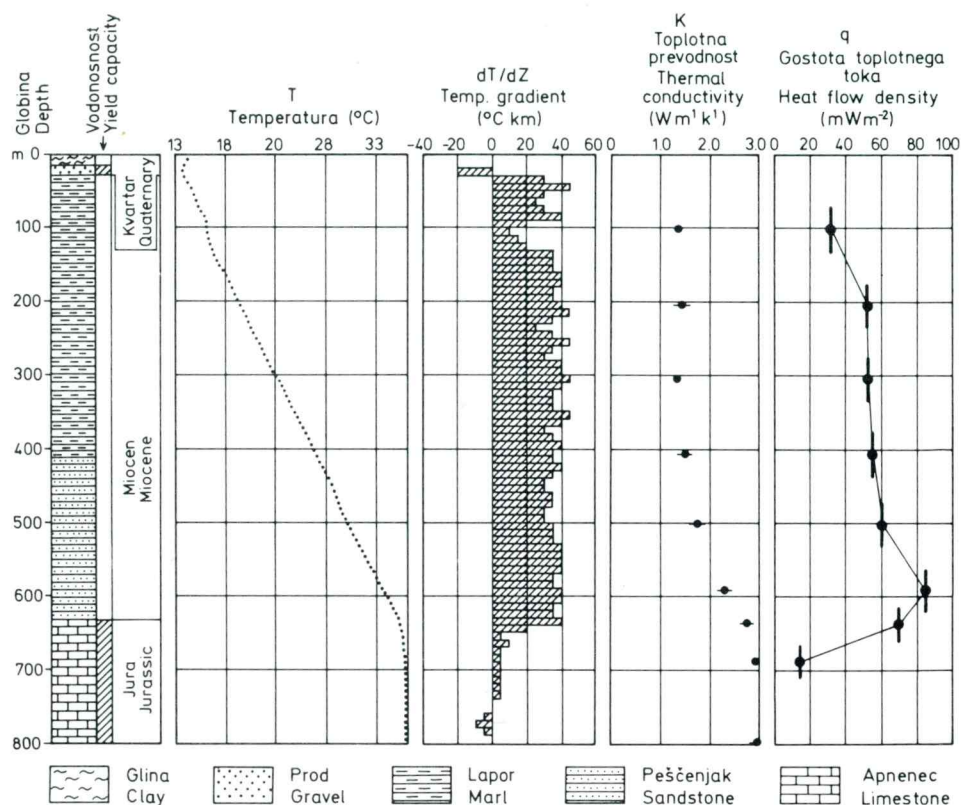


Sl. 4. Geoelektrični profil in njegov položaj

Fig. 4. Geoelectric profile and its location

verjetno tudi druge. Če lociramo vrtine v teh pasovih proti severu, temperatura narašča, dokler smo v področju mešanja, dosežena ustaljena vrednost pa ostaja enaka do najglobljih delov sinklinale. V globini kroži hladnejša voda.

Najvišje temperature, ki jih dosežemo lahko na celotnem polju, so do okoli 65°C, s tem da je zaradi dane geološke zgradbe možnost teh temperatur večja od Kostanjevice proti vzhodu. Na mestih zunaj področij iztekanja termalne vode so temperaturni gradienti sicer povišani, vendar znatno nižji kot v njih. Kot primer naj navedemo vrtino SI-1/86 pri Kostanjevici (sl. 5).



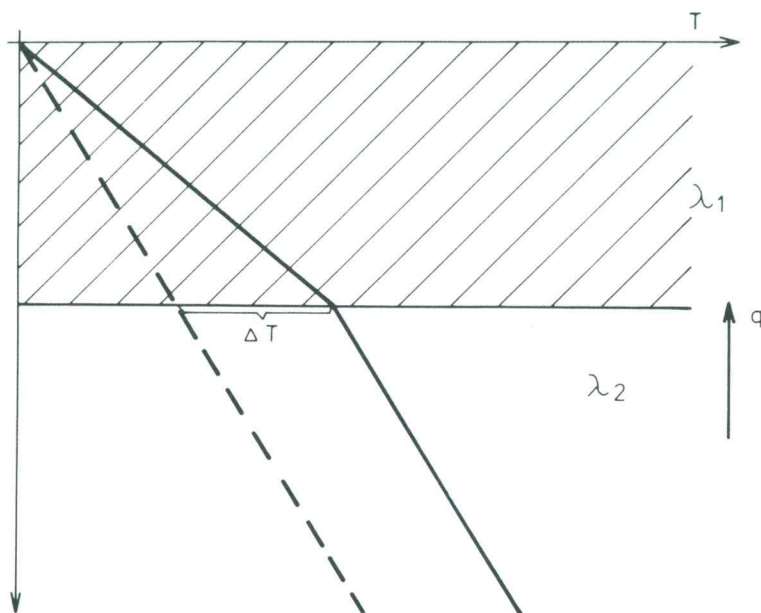
Sl. 5. Termometrični podatki o vrtini SI-1/86

Fig. 5. Thermometrical data for the borehole SI-1/86

Pričakovani rezultati in možnosti izkoriščanja termalne vode

Za določitev lokacije in širine »pasov« iztekanja termalne vode bo potrebno izvrstati termometrične vrtine globine do 100 m in z geofizikalnimi meritvami določiti globino karbonatne podlage. V prvi fazi bi se bilo potrebno usmeriti na področja proti severu od znanih termalnih izvirov ob obrobju Gorjancev. Tam lahko pričakujemo najvišje temperature (do 65°C) v globinah 500–700 m. Izdatnosti na vrtino bi bile do 50 l/s, skupne izdatnosti na posameznih področjih pa najmanj 300–500 l/s. To predstavlja ob vhodni temperaturi 60°C, pretoku 300 l/s in temperaturnemu izkoristku 30°C termično moč okoli 38 MW_t za posamezno področje. Vode so nizko mineralizirane in primerne za neposredno uporabo.

Navedene temperature pa lahko pričakujemo tudi zunaj teh »pasov« iztekanja termalne vode, le da bi bila v tem primeru globina vrtin za iste temperature znatno višja, od 1200–1500 m.



Sl. 6. Potek temperature zaradi »efekta prekrivanja«; v kontaktu sta dve različno toplotno prevodni kamnini (λ_1, λ_2) s pogojem, da je $\lambda_1 < \lambda_2$

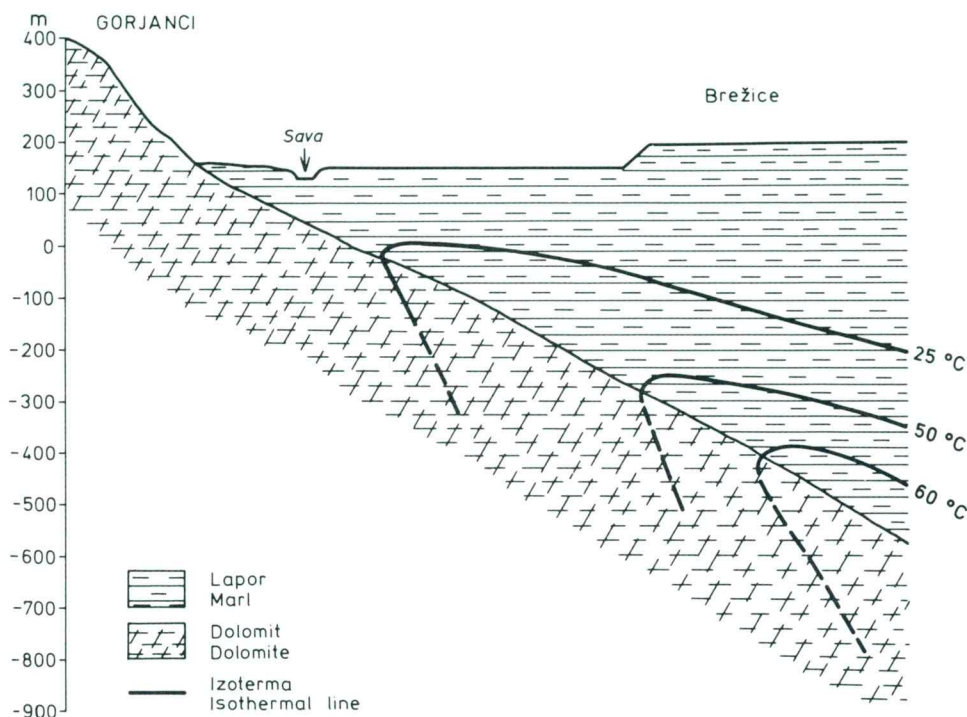
Fig. 6. Temperature-depth relation caused by the "blanketing effect"; two rock-types differ in thermal conductivities (λ_1, λ_2 and $\lambda_1 < \lambda_2$)

Termalno vodo bi bilo možno izkoriščati za komunalno ogrevanje mesta Brežice, kjer je predvidena lokacija vrtin ob že obstoječih kotlarnah (Ravnik et al., 1988). Velike so možnosti za uporabo termalne vode v kmetijstvu, npr. v toplih gredah, pa seveda v balneologiji.

Sklepi

V prispevku sem skušal prikazati geotermične razmere na Krško-Brežiškem polju. Postavljen je bil geotermični model, temelječ na novejših spoznanjih s podobnih področij v svetu in na reinterpetaciji vseh razpoložljivih podatkov s tega področja.

Do javljanja termalne vode prihaja zaradi specifične geološke zgradbe – sinklinale, zapolnjene s klastičnimi in nizko toplotno prevodnimi sedimenti, ki ne prepuščajo vode, in vodonosnimi karbonati v podlagi. Sedimenti se med seboj razlikujejo po toplotni prevodnosti, kar je vzrok višjim temperaturnim gradientom v krovni karbonatov. Toplota se dovaja s konduktivnim toplotnim tokom in odvaja s konvektivnim kroženjem podtalnice v karbonatnih kamninah. Ob celotnem južnem in zahodnem obrobju polja se javlja več termalnih izvirov, v katerih pa je voda že ohlajena zaradi mešanja s hladno podtalnico v karbonatih Gorjancev.



Sl. 8. Shematski geološki profil Gorjanci-Brežice z izotermami

Fig. 8. Schematic geologic cross-section Gorjanci-Brežice with isothermals

Temperaturo 60–65 °C je možno pričakovati vzdolž celotne osi sinklinale v globini okoli 1500 m. Isto temperaturo pa je možno dobiti na znatno manjših globinah, v conah s poudarjenim konvektivnim kroženjem podtalnice. Te ležijo v zaledju znanih izvirov s povišano temperaturo, proti osi sinklinale.

Geothermal model for the Krško-Brežice Field

Conclusions

An attempt has been made hereby to present the geothermal conditions for the Krško-Brežice Field area. The geothermal model conceived is based on recent concepts applied for similar conditions elsewhere, and on reinterpretation of all available data concerning the Field area.

The appearance of thermal waters is due to specific synclinal structural build up, with the impervious clastics of low heat conductivities overlying the water-bearing calcareous basis. The differences in heat conductivities of the sediments are the cause of the greater temperature gradients in the beds above the carbonates. The heat within the carbonate rocks is supplied by conduction heat flow and is removed by convective circulation of groundwater. On the entire southern and western margin of

the Field area some thermal springs appear, their water already cooled down because of mixing with cold groundwater from the Gorjanci carbonate rocks.

A water temperature of 60 to 65 °C may be expected in a depth of about 1500 m along the whole axis of syncline. The same temperature might be obtained at much lesser depths within zones of intense convective groundwater circulation. Such zones are situated in the hinterlands of the known thermal springs, their temperature increasing towards the axis the syncline.

Literatura

Ivanković, J. & Nosan, A. 1973, Hidrogeologija Čateških Toplic. *Geologija*, 16, 353–361, Ljubljana.

Lapajne, J., Premru, U. & Ivanković, J. 1974, Raziskave območja termalnih izvirov jugovzhodne Slovenije. Petfazna raziskovalna naloga 1970–78. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.

Nosan, A. 1973, Termalni in mineralni vrelci v Sloveniji. *Geologija*, 16, 5–46, Ljubljana.

Pleničar, M., Premru, U. & Herak, M. 1976, Osnovna geološka karta SFRJ, list Novo mesto, 1 : 100 000. Zvezni geološki zavod, Beograd.

Ravnik, D., Verbovšek, R. & Živanović, M. 1988, Predhodne raziskave za lociranje raziskovalne vrtine za zajem termalne vode v Brežicah. Tipkano poročilo. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.

Šikić, K., Baš, D. & Šimunić, A. 1978, Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb, 1 : 100 000. Zvezni geološki zavod Beograd.

Verbovšek, R. 1986a, Raziskave termalne vode na Čateškem polju. Tipkano poročilo. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.

Verbovšek, R. 1986b, Raziskave termalne vode pri Kostanjevici. Tipkano poročilo. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.

Verbovšek, R. & Ravnik, D. 1986, Poročilo o geotermičnih raziskavah pri Topličniku s predlogom lokacije strukturno-kaptažne vrtine globine 800 m. Tipkano poročilo. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.