

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 19	str. 27 - 33	Zagreb, 2007.
----------------------------------	---------	--------------	---------------

UDK 552.1:681.14
UDC 552.1:681.14

Originalni znanstveni rad
Original scientific paper

Jezik/Language: *Hrvatski/Croatian*

ODNOSI TOPLINSKE PROVODLJIVOSTI STRATIGRAFSKIH JEDINICA IZ ŠIREG PODRUČJA ZAGREBA

CORRELATIONS OF THERMAL CONDUCTIVITY BETWEEN STRATIGRAPHIC UNITS IN THE BROADER AREA OF ZAGREB

MIRON KOVAČIĆ

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, Zagreb, Hrvatska
e-mail: miron.kovacic@hgi-cgs.hr

Ključne riječi: toplinska provodljivost, geotermalna karta, stratigrafske jedinice, Zagreb, Hrvatska

Key words: thermal conductivity, geothermal map, stratigraphic units, Zagreb, Croatia

Sažetak

Konduktivna toplinska provodljivost odnosno koeficijent toplinske vodljivosti (KTV) geoloških formacija je jedan od parametara o kojem ovisi kretanje topline unutar Zemlje. Prilikom geotermijskih istraživanja šireg područja grada Zagreba obavljena su mjerenja KTV uzoraka stijena iz bušotina i s površine. U radu su prikazani rezultati tih mjerenja i na temelju njih izračunate konduktivne toplinske provodljivosti pojedinih geoloških formacija istraživanog područja. Utvrđeno je da stijene istraživanog područja imaju vrlo različitu toplinsku provodljivost. Izmjerene vrijednosti su u okviru poznatih raspona za određene vrste stijena, pri čemu KTV uzoraka stijena tercijarnih jedinica odgovaraju srednjim vrijednostima za te vrste stijena, a one karbonata podloge tercijara su za $1 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ više od prosječnih vrijednosti. Usporedbom vrijednosti toplinske provodljivosti stratigrafskih jedinica sa šireg područja Zagreba između ostalog je utvrđeno da su vrijednosti KTV geoloških formacija u istraživanom području takođe vrlo različite i da generalno rastu s njihovom starošću. Relativni odnosi pokazuju da kvartarne, pliocenske i tercijarne naslage u istraživanom području predstavljaju toplinski izolator, a trijaskie naslage toplinski vodič.

Uvod

Konduktivna toplinska provodljivost odnosno koeficijent toplinske vodljivosti (u daljnjem tekstu - KTV) značajan je parametar u termodinamici. To vrijedi i u geotermiji, gdje osim o drugim faktorima, o KTV geoloških formacija uveliko ovisi kretanje topline unutar Zemlje (Haenel et al., 1988). Različite vrste stijena različito provode toplinu, ali i istovrsne stijene provode toplinu u vrlo širokom rasponu vrijednosti (Zoth & Haenel 1988, Kappelmeyer & Haenel, 1974). Zbog toga je u različitim ge-

Abstract

Thermal conductivity (KTV) of geological formations is one of the parameters responsible for the propagation of the heat under the earth surface. During geothermal investigations in the broader area of the Croatian capital of Zagreb the thermal conductivity was measured on the rock samples from the surface and the boreholes. The results of the measurements are presented in this work and used as a basis for calculations of the thermal conductivity of distinct geological formations within the investigated area. It was found out that the values of the thermal conductivity of the rocks in the investigated area vary greatly. The measurements are within the well known scope for certain rock types. The thermal conductivity of the rocks from the Tertiary units corresponds with the average values being typical for such kind of rocks, while the basement carbonate rocks are characterized by the values being by $1 \text{ W/K}^{-1}\text{m}^{-1}$ higher than the average. After comparing the thermal conductivity of the stratigraphic units in the broader area of Zagreb it has been established that the values of the thermal conductivity of geological formations in the investigated area are also very different, and that they generally rise with their age. The relative relationships show that the Quaternary, Pliocene and Tertiary sedimentary rocks act as thermal insulators, while Triassic rocks behave as the heat conductor.

ografskim područjima KTV jednakih geoloških formacija različita i da bi se mogla tumačiti termodinamika u određenom području potrebno je posebno odrediti toplinsku provodljivost njegovih formacija. S ciljem da se odredi KTV pojedinih geoloških formacija sa šireg područja Zagreba (Sl. 1.) obavljena su mjerenja KTV uzoraka stijena različitih litostratigrafskih jedinica s tog područja. Za određivanje geotermijskih značajki područja najvažniji su podaci toplinske provodljivosti formacija u bušotinama i stoga su analizirani svi uzorci stijena iz slijedećih bušotina sa zagrebačkog područja: Jarun-1 (Jrn-1), Klinička

bolnica Novi Zagreb-2 (KBNZ-2), Lučanka-1 (Luč-1), Nedjelja-1 (N-1), Podsused termalna-1 (PDT-1) i Sava-1. Obzirom da je uzoraka stijena iz bušotina bilo relativno malo dodatno su analizirani i uzorci stijena istovrsnih formacija s površine. Mjerenja su obavljena u Hrvatskom geološkom institutu u Zagrebu. U radu su korišteni podaci prikupljeni u okviru projekta Geotermalna karta Republike Hrvatske (181-1811096-1790) kojeg financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa RH.

Cilj ovog rada je usporediti mjerene srednje vrijednosti KTV uzoraka pojedinih vrsta stijena sa srednjim vrijednostima KTV istovrsnih stijena poznatim iz literature, ali i uočiti i postojanje eventualne pravilnosti u odnosima KTV različitih stijena sa šireg područja Zagreba.



Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja

Figure 1 Geographical site of the investigated area

Metode istraživanja

Za mjerenje KTV korištena je nestacionarna metoda, tzv. *Quick Thermal Conductivity Method*. Metoda se zasniva na poboljšanoj metodi "vruće žice", odnosno na utvrđivanju relacije između promjene temperature mjenjenog sredstva i sredstva poznate KTV u određenom vremenu (Sumikawa & Arakawa, 1976; Prelovšek et al., 1982; Prelovšek & Uran, 1984).

Odnose navedenih veličina moguće je najjednostavnije izraziti izvedenom jednadžbom:

$$k = \frac{q \ln(t_2 / t_1)}{2\pi(T_2 - T_1)} - k_0 \quad (1)$$

gdje je k KTV uzorka, k_0 je poznati KTV dijela uređaja koji je u kontaktu s uzorkom, q je gustoća toplinskog toka koji prođe tijekom određenog vremena, t_1 i t_2 su početak

i kraj linearnog toka povišenja temperature uzrokovanog zagrijavanjem žice, a T_1 i T_2 su temperature na početku i na kraju linearnog toka povišenja temperature.

Mjerenja su obavljena instrumentom MTP-4 proizvođača VTOZD-Fizika, Ljubljanska Univerza. Prema proizvođaču, odstupanje od točne vrijednosti je manje od 10%.

Poznato je da poroznost značajno utječe na toplinsku provodljivost stijena. Što je veća poroznost, manja je toplinska provodljivost. Kada su pore ispunjene vodom ($k_{vode} = 0,598 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$), provodljivost je mnogo veća od one kada su pore ispunjene zrakom ($k_{zraka} = 0,0251 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$) (Somerton, 1958). To je potvrđeno na uzorku siltičnog lapora iz bušotine KBNZ-2a gdje je KTV suhog uzorka $1,085 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, a vlažnog $1,612 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$. Zbog toga su uzorci močeni u vodi tijekom 90 dana da bi prihvatili količinu vode kakvu vjerojatno imaju in situ.

Konduktivna toplinska provodljivost pojedinih formacija određena je kao srednja vrijednost KTV uzoraka te formacije. Toplinska provodljivost pliocensko-kvartarnih sedimenata određena je korelacijom gustoće stijena (ρ) [gcm^{-3}] i toplinske provodljivosti (k) [$\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$] formulom (Jelić, 1979):

$$k = p \rho^m \quad (2)$$

Da bi se mogle odrediti konstante p i m ovaj izraz sveden je na linearni oblik :

$$\log k = \log p + m \log \rho \quad (3)$$

Eksperimentima je ustanovljeno da konstante imaju sljedeće vrijednosti: $m = 2,86$ i $p = 0,142$. Iz toga slijedi da jednadžba odnosa toplinske provodljivosti i gustoće glasi:

$$k = 0,142 \rho^{2,86}$$

Rezultati mjerenja i proračuna

a) Konduktivna toplinska provodljivost uzoraka stijena

Mjerenja konduktivne toplinske provodljivosti obavljena su na svim jezgrama iz 6 bušotina s istraživanog područja. Budući da je uzoraka iz bušotina bilo malo analizirani su i uzorci stijena ekvivalentnih stratigrafskih jedinica s površine. Na uzorcima je obavljeno 10 do 24 pojedinačnih mjerenja. Kod termički nehomogenih uzoraka obavljeno je više mjerenja. Ukupno je obavljeno 400 pojedinačnih mjerenja na 33 uzorka. Višestrukim mjerenjem uz pomake senzora te statističkom obradom dobivene su prosječne vrijednosti konduktivne toplinske provodljivosti pojedinih uzoraka. U tablici 1 prikazani su najvažniji podaci mjerenja.

Tablica 1. Najvažniji podaci mjerenja konduktivne toplinske provodljivosti uzoraka stijena

Table 1 The most important thermal conductivity measurements data of rock samples

Uzorak Sample	Mjesto uzorkovanja Sample place	Interval Interval m	Stratigrafska jedinica Stratigraphic unit	Litološki sastav Lithologic composition	Broj mjerenja Number of measurements	Raspon Range (WK ⁻¹ m ⁻¹)	KTV srednja vrijednost Average k (WK ⁻¹ m ⁻¹)
g.pont1	površina surface	-	g. pont U. Pontian	siltitična glina silty clay	10	0,031	1,551
g.pont2	''	-	''	''	10	0,050	1,522
N1-516	N-1	516-524	d. pont L. Pontian	lapor marl	10	0,080	1,810
d.pont1	površina surface	-	d. pont L. Pontian	glinoviti pješčenjak clayey sandstone	14	0,257	2,058
d.pont2	površina surface	-	d. pont L. Pontian	glinoviti silit clayey siltstone	18	0,273	2,054
KB 2 584	KBNZ-2α	584-590	g. panon U. Pannonian	lapor marl	10	0,030	1,612
g.panon1		-	g. panon U. Pannonian	vapnovita glina calclitic clay	10	0,075	1,604
g.panon2	''	-	''	''	11	0,163	1,696
KB 2 767	KBNZ-2α	767-772	d. panon L. Pannonian	glinoviti vapnenac clayey limestone	10	0,103	1,654
Lu 1 759a	Luč-1	759-769	''	''	10	0,027	1,787
Lu 1 759b	Luč-1	759-769	''	pjeskoviti lapor gravelly marl	10	0,122	2,043
N-1 791	N-1	791-797	''	''	10	0,054	2,081
d.panon1	površina surface	-	''	glinoviti vapnenac clayey limestone	14	0,062	1,834
d.panon2	''	-	''	''	10	0,072	1,926
Jarun1 822	Jrn -1	822-830	s. i d. miocen M. & L. Miocene	pjeskoviti lapor gravelly marl	10	0,115	2,175
KB 2 846	KBNZ-2α	846-850	''	''	15	0,290	2,158
Jarun1 641	Jrn -1	641-649	''	bioklastični vapnenac bioclasticlimestone	10	0,167	2,726
miocen 1	površina surface	-	''	''	10	0,101	2,366
miocen 2	''	-	''	''	10	0,076	2,450
KB 2 1117	KBNZ-2α	1117-1122	''	''	10	0,087	2,324
miocen 3	površina surface	-	''	''	15	0,173	1,995
Jarun -1 1065	Jarun -1	1065-1075	''	brečokonglomerat breccia-conglomerate	15	0,498	3,305
N-1 918	N-1	918-922	''	breča breccia	10	0,167	2,312
Sava-1 1300	Sava-1	1300-1305	''	brečokonglomerat breccia-conglomerate	11	0,228	1,988
miocen 4	površina surface	-	''	konglomerat conglomerate	24	0,655	2,639
miocen 5	''	-	''	pješčenjak sandstone	12	0,175	2,899
miocen 6	''	-	''	brečokonglomerat breccia-conglomerate	17	0,307	2,722
N1 1027	N-1	1027-1029	g. i sr. trijas U. & M. Triassic	dolomitna breča dolomite breccia	10	0,302	4,364
N1 1310	N-1	1310-1311	''	dolomit dolomite	14	0,457	5,348
PDT1 251	PDT-1	251-252	''	dolomitna breča dolomite breccia	10	0,228	4,716
D1	površina surface	-	''	''	12	0,280	4,530
D2	''	-	''	dolomit dolomite	14	0,219	4,669
D3	''	-	''	''	14	0,476	4,684

b) Konduktivna toplinska provodljivost stratigrafskih jedinica na temelju mjerenja

Pripadnost pojedinih uzoraka stijena iz bušotina stratigrafskim jedinicama određena je u laboratoriju INA-Naftaplina, a podaci potječu iz fonda dokumentacije te tvrtke i objavljenog rada Radić et al. (1987). Precizna stratigrafska odredba uzoraka stijena donjeg i srednjeg miocena zbog nedostatka fosilnog sadržaja u jezgrama nije bila

moгуća. Zbog toga su uzorci stijena u navedenom stratigrafskom rasponu razvrstani po njihovim litološkim karakteristikama u tri skupine: a) lapore i pjeskovite lapore, b) vapnence i c) brečokonglomerate i pješčenjake.

Konduktivna toplinska provodljivost stratigrafskih jedinica prikazana je u Tablici 2. Kod proračuna raspona izmjerenih vrijednosti KTV stratigrafskih jedinica izbačena je vrijednost uzorka N1 1310 jer se radi o mramoriziranom dolomitu, stijeni netipičnoj za stratigrafsku jedinicu.

Tablica 2. Srednja vrijednost konduktivne toplinske provodljivosti uzoraka stijena i stratigrafskih jedinica

Table 2 The thermal conductivity average data of rock samples and stratigraphic units

Stratigrafska jedinica <i>Stratigraphic unit</i>	Litološki sastav <i>Lithologic composition</i>	Srednja vrijednost KTV uzorka (W/Km) <i>Average thermal conductivity of sample (W/Km)</i>							Srednja vrijednost KTV jedinice <i>Average of unit (WK⁻¹m⁻¹)</i>	Raspon <i>Range (WK⁻¹m⁻¹)</i>
		Jrn-1	KBNZ-2	Luč-1	N-1	Pdt-1	Sava-1	surface		
Kvartar i pliocen <i>Quaternary & Pliocene</i>	glina, silt, pijesak, šljunak <i>clay, silt, sand, pebble</i>								1,03	
M	G. pont U. Pontian							1,551 1,522	1,54	0,029
	D. pont L. pontian				1,810			2,058 2,054	1,97	0,248
I	G. panon U. Pannonian		1,612					1,604 1,696	1,63	0,084
	D. panon L. Pannonian		1,654	2,043 1,787	2,081			1,834 1,926	1,89	0,427
O	Sr. miocen M. Miocene	2,175	2,158						2,167	0,092
	D. miocen	2,726	2,324					2,450 1,995 2,366	2,37	0,731
E	Lower Miocene	3,305			2,312		1,988	2,639 2,722 2,899	2,64	1,317
	Sr i g. trijas U. & M. Triassic				4,364 5,348	4,716		4,530 4,669 4,684	4,72	0,352

c) Izračun konduktivne toplinske provodljivosti pliocensko-kvartarnih sedimenata

Prema podacima iz bušotina pliocensko-kvartarni sedimenti sastoje se od: šljunaka, pijesaka, silta, glina i treseta. Jezgara iz te stratigrafske jedinice nema. Zbog nedostatka opreme za mjerenje KTV rastresitog materijala KTV pliocensko-kvartarnih sedimenata izračunat je na temelju gustoće stijena. Prema Jeliću (1984), srednja vrijednost gustoće (ρ) tih sedimenata od površine do dubine 500 m u istraživanom području iznosi 2,0 gcm⁻³. Kad se navedena vrijednost uvrsti u formulu (1) za pliocensko-kvartarne sedimente, dobiva se vrijednost KTV 1,03 WK⁻¹m⁻¹.

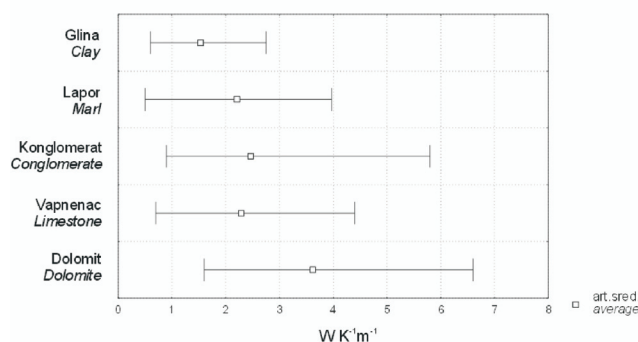
Interpretacija rezultata mjerenja i proračuna

Raspon KTV pojedinih uzoraka stijena uglavnom je mali i iznosi do $\pm 5\%$ vrijednosti (Tablica 1). Izuzetak su polimiktni brečokonglomerati donjeg i srednjeg miocena kod kojih je veliki raspon KTV uvjetovan različitim termičkim značajkama pojedinih fragmenata unutar uzorka. Raspon izmjerenih vrijednosti KTV na uzorku KB 2 846 također je nešto veći od 10%. Taj veći raspon uvjetovan je različitim termičkim značajkama proslojaka lapora i pješčenjaka od kojih se uzorak sastoji.

Raspon dobivenih srednjih vrijednosti KTV svih uzoraka je vrlo velik i iznosi 3,826 WK⁻¹m⁻¹. Minimalna srednja vrijednost KTV uzorka je 1,522 (g.pont2, laporovita

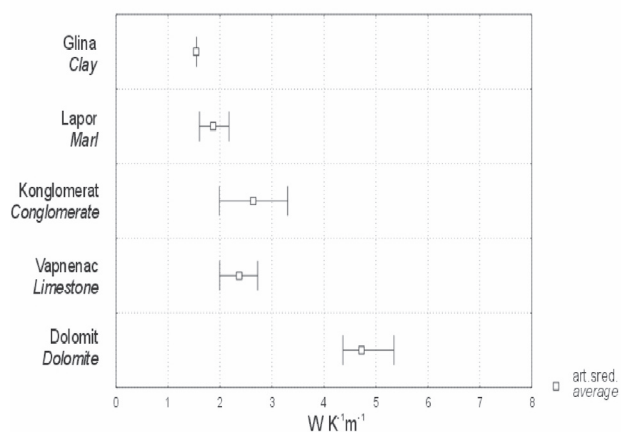
glina), a najveća vrijednost je $5,348 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ (uzorak N1 1310, trijas, mramorizirani dolomit).

Odnos vrijednosti KTV dobivenih mjerenjem na uzorcima pojedinih vrsta stijena i vrijednosti poznatih iz literature prikazan je na Sl. 2 i 3. Na prikazu se vidi da su izmjerene vrijednosti KTV u okviru poznatih raspona za određene vrste stijena. Srednje vrijednosti KTV stijena tercijarnih jedinica odgovaraju najčešćim vrijednostima za te vrste stijena, a dolomiti srednjeg i gornjeg trijasa koji se nalaze u podlozi tercijara imaju za $1 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ veću vrijednost KTV od prosječne.



Slika 2. Toplinska provodljivost stijena pri sobnoj temperaturi (prema Zoth & Haenel 1988, Kappelmeyer & Haenel, 1974)

Figure 2 Thermal conductivity of the rocks, indoor condition (after Zoth & Haenel 1988, Kappelmeyer & Haenel, 1974)



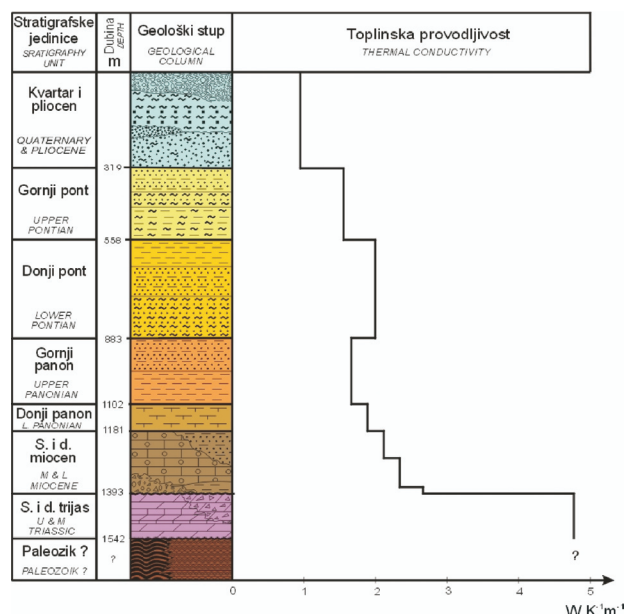
Slika 3. Toplinska provodljivost stijena u istraživanom području

Figure 3 Thermal conductivity of rocks in the investigated area

Rasponi dobivenih rezultata mjerenja KTV kod pojedinih stratigrafskih jedinica (tablica 2), su relativno mali (od $0,029$ do $0,352 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$). Izuzetak su litološki članovi donjeg i srednjeg miocena - vapnenaci kod kojih je raspon $0,731$ i brečokonglomerati čiji je raspon $1,371 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$. Veliki raspon kod vapnenaca uzrokovan je time što su ovdje uključeni vapnenaci različite starosti (od egera do sarmata) koji su sedimentirani u različitim uvjetima (litavac, litotamnijski vapnenac, kongerijski vapnenac i kalkare-

nit) i imaju različite poroznosti. Kod brečokonglomerata veliki raspon je uvjetovan različitim sedimentološkim i mineraloškim značajkama pojedinih uzoraka.

Mjerenja na uzorcima pokazala su da stijene različitih stratigrafskih jedinica imaju različite koeficijente toplinske vodljivosti. To se vidi iz raspona prosječnih vrijednosti KTV formacija koji je izrazito velik i iznosi $3,69 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$. Prema vrijednostima KTV stratigrafske jedinice možemo podijeliti u dva razreda. Prvom razredu pripadaju pliocensko-kvartarna i sve jedinice tercijarne starosti, a drugom razredu karbonatni kompleks srednjeg i gornjeg trijasa. U prvoj klasi stratigrafskih jedinica najniži prosječni koeficijent ima pliocensko-kvartarna jedinica ($1,03 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$), a najveći brečokonglomerati donjeg i srednjeg miocena ($2,64 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$). Raspon KTV tercijarnih formacija iznosi $1,61 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, a prosječna vrijednost $1,9 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$. Prosječna vrijednost KTV nabušenih stijena srednjeg i gornjeg trijasa koje se nalaze u podlozi tercijara, odnosno njihovih površinskih ekvivalenata, je $4,72 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ što znači da te stijene imaju dva i pol puta veći KTV od prosječne vrijednosti KTV stijena prve klase stratigrafskih jedinica. Na temelju navedenih međusobnih odnosa vrijednosti KTV, pliocensko-kvartarna i tercijarne stratigrafske jedinice u istraživanom području mogu se smatrati toplinskim izolatorom, a trijaski dolomiti u njihovoj podlozi vodičem topline.



Slika 4. Odnos konduktivne toplinske provodljivosti i starosti stratigrafskih jedinica

Figure 4 The correlation between thermal conductivity and age of the stratigraphic

S obzirom na superpozicijski položaj stratigrafskih jedinica, vidi se da u istraživanom prostoru njihov KTV generalno raste sa starošću formacija (Sl. 4). Taj rast nije pravilan, već je ovisan i o litološkim karakteristikama for-

macija. To se dobro vidi kada se usporede KTV gornjeg panona ($1,63 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$) i donjeg ponta ($1,97 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$). Prema pravilu porasta s dubinom, KTV gornjeg panona trebala bi biti veća od KTV donjeg ponta, ali to nije. Do ove pojave došlo je zbog toga što u sastavu uzoraka gornjeg panona, u odnosu na sastav uzoraka donjeg ponta ima više glinovite komponente koja je lošiji toplinski vodič.

Zaključak

Na temelju mjerenja na uzorcima stijena iz bušotina i s površine, proračuna KTV stratigrafskih jedinica i analize tako dobivenih podataka može se o KTV stijena i stratigrafskih jedinica zagrebačkog područja zaključiti sljedeće:

- raspon KTV pojedinih uzoraka stijena uglavnom je mali i iznosi do 10 % (izuzetak su polimiktni brečokonglomerati donjeg i srednjeg miocena),
- raspon dobivenih srednjih vrijednosti KTV svih uzoraka je vrlo velik i iznosi $3,862 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$,
- izmjerene vrijednosti KTV u okviru su poznatih raspona za određene vrste stijena,
- KTV uzoraka stijena tercijarnih jedinica odgovaraju najčešćim vrijednostima za te vrste stijena, a karbonati podloge tercijara imaju za $1 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ veću vrijednost od prosječne,
- raspon prosječnih vrijednosti KTV formacija je izrazito velik i iznosi $3,69 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$,
- KTV stratigrafskih jedinica u istraživanom prostoru generalno raste sa starošću formacija,
- prosječna vrijednost KTV ($1,9 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$) pliocensko-kvartarne i tercijarnih stratigrafskih jedinica je dva i pol puta manja od KTV karbonatnog kompleksa srednjeg i gornjeg trijasa ($4,72 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$). Zbog toga se pliocensko-kvartarna i tercijarne stratigrafske jedinice u ovom slučaju mogu smatrati toplinskim izolatorom, a trijaski dolomiti u njihovoj podlozi vodičem topline.

Received: 20.09.2007.

Accepted: 04.10.2007.

Literatura

- Haenel, R., Rybach, L. & Stegna, L. (1988): Fundamentals of geothermics. R. Haenel, L. Rybach and L. Stegna (eds.), Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination, 9-57, Dordrecht.
- Jelić, K. (1979): Termičke osobine sedimentacionog kompleksa jugozapadnog dijela Panonskog bazena. Doktorska disertacija, RGN-fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Zagreb.
- Jelić, K. (1984): Odnos gustoće i poroznosti s dubinom litostratigrafskih formacija Savske i Dravske potoline. Nafta, 35, 12, 637-643, Zagreb.
- Kappelmeyer, O. & Haenel, R. (1974): Geothermics with Special Reference to Application. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart.
- Prelovšek, P. & Uran, B. (1984): Generalized hot wire method for thermal conductivity measurements. J. Phys. E. Sci. Instrum. 17, 674-677.
- Prelovšek, P., Babič, M. & Uran, B. (1982): Meritve toplotne prevodnosti kamenin z izboljšano metodo grelne žice. Geologija, 25/2, 335-339, Ljubljana.
- Radić, J., Jovanović, M., Matešin, D., Boškov-Steiner, Rukavina, Ž. & Kedmenec, A. (1987): Zagrebački termalni akvifer. Zbornik radova savjetovanja problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mjesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja, 211-219., Niška Banja.
- Somerton, W. H. (1958): Some Thermal Characteristics of Porous Rocks. Trans. AIME, 213, 375-378, Dallas.
- Sumikawa, S. & Arakawa, Y. (1976): Quick thermal conductivity meter. Instrumentation and Automation (Japan) 4, 60.
- Zoth, G. & Haenel, R. (1988): Thermal Conductivity.- R. Haenel, L. Rybach and L. Stegna (eds.), Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination, 449-467, Dordrecht.

CORRELATIONS OF THERMAL CONDUCTIVITY BETWEEN STRATIGRAPHIC UNITS IN THE BROADER AREA OF ZAGREB

Thermal conductivity (KTV) of geological formations is one of parameters responsible for propagation of heat under the earth surface. During geothermal investigations in the broader area of the Croatian capital of Zagreb (Fig. 1) the thermal conductivity was measured on the rock samples from the surface and the boreholes. The results of the measurements are presented in this work, which served as the basis for calculations of thermal conductivity of distinct geological formations within the investigated area. Due to impracticality of the equipment needed to measure the thermal conductivity of loose material, for Pliocene-Quaternary sediments this parameter is calculated on the basis of their density (Jelić, 1979, 1984).

It was found out that the values of the thermal conductivity for the rocks in the investigated area vary in the range from 1.522 to 5,348 $\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ (Table 1). Measured average values of the thermal conductivity for some rock types are compared with their average values known from the literature (Zoth & Haenel 1988, Kappelmeyer & Haenel, 1974) and it was established that they vary within

well known scope of certain rock types. The thermal conductivity of the Tertiary units corresponds with the average values for these formations while the basement carbonate rocks are characterized by the values being by 1 $\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ higher than the average (Fig. 2 and 3). After comparing the thermal conductivity of the stratigraphic units in the broader area of Zagreb it has been established that the values of the thermal conductivity of geological formations in the investigated area are also very different, falling within the range of 1.03 – 4.72 $\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ (Table 2). Thermal conductivity of stratigraphic units generally rises with their age (Fig. 4). The relative relationships show that the Quaternary, Pliocene and Tertiary sedimentary rocks act as the thermal insulators, while Triassic rocks behave as the heat conductor.

The data used in this work had been collected in the frame of the project "Geothermal Map of the Republic of Croatia (181-1811096-1790)" funded by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia.