

# Olajipari fúrások karotázs-hőmérséklet-értékeinek feldolgozása\*

J U H Á S Z P É T E R\*\*

Magyarországon extrém és területenként is rendkívül változó geotermikus viszonyok uralkodnak. A mélyfúrások karotázs-vizsgálatánál a bonyolult földtani adottságok és a fúrásokban levő nagy hidrosztatikai nyomás mellett a magas hőmérséklet okozza a legnagyobb problémát. Ezért fontos a rendszeres, nagyszámú hőmérsékletmérés és a mérési adatok minél hatékonyabb feldolgozása.

Évente 100–150 olajipari fúrás mélyül, melyekben a különböző mélységekben végzett szelvényezésekre kapcsolódóan talphőmérséklet-adatokból lokális réteghőmérséklet-értékeket számítottunk, majd ezekből lineáris regresszióval építettük fel az adott szerkezet mélység-hőmérséklet-összefüggését.

Ennek alapján került megszerkesztésre a Szeged–Békési medence egy adott mélységhez tartozó izoterma térképe, mely jó összhangban van a terület földtani szerkezetével. A hőmérséklet-adatok közvetlen segítséget adnak a fúrás geológiai-geofizikai értékeléséhez, és belőlük következtetés vonható le az adott szerkezet földtani felépítésére is. A mérési adatok feldolgozásával hasznos információkat kaphatunk a további kutak mélyítésének fúrástechnikai és geofizikai tervezéséhez, ami különösen fontos a nagymélységű (4500 m alatti) fúrásoknál.

На территории Венгрии господствуют экстремные и чрезвычайно изменчивые по районам геотермические условия. При проведении каротажных исследований в глубоких скважинах наряду со сложным геологическим строением и большим гидростатическим давлением трудности вызывает и высокая температура. Поэтому важно систематическое проведение большого числа температурных измерений и как можно более эффективная обработка результатов этих измерений.

Ежегодно бурится 100–150 нефтяных и газовых скважин в которых на основании данных измерения забойных температур, проведенных совместно с другими каротажными измерениями, рассчитали локальные величины пластовых температур, а затем из этих величин методом линейной регрессии построили для заданной структуры зависимость между глубиной и температурой.

На основании этого была построена карта изотерм, относящаяся у одной определенной глубине бассейна Сегед–Бекеш, которая хорошо соответствует геологической структуре района. Температурные данные оказали непосредственную помощь для геолого-геофизической оценки данных скважины и на их основании можно сделать выводы и о геологическом строении данной структуры. Путем обработки данных измерений получил полезную информацию для составления геолого-технического проекта бурящихся скважин что особенно важно для сверхглубоких скважин (глубиной свыше 4500 м).

*Geotermical conditions in Hungary are extreme and vary to an unusual extent even within individual areas.*

*Apart from complicated geological conditions and high hydrostatic pressure in the boreholes the greatest problem in logging of deep wells is caused by high temperatures. Thus it is important to conduct regular and massive temperature measurement and to process the measured data with the possible highest efficiency.*

*The number of wells drilled by the oil industry in each year is 100 to 150. In these wells in connection with logging at various depths local bed temperature values were calculated from data of bottom temperatures, then using linear regression the relationship of depth vs. temperature was composed for the given structure.*

*On such a basis was plotted the isotherm map for a given depth of the Szeged–Békés basin which is in good agreement with the geological structure of the area. Temperature data render direct help to geologo-geophysical evaluation of wells and permit to draw conclusions as to the geological structure of the given area. Processing of well logging data furnishes useful informations to technical and geophysical projection of drilling further wells, which is of extraordinary importance in the case of deep wells (over 4500 m).*

\* Előadás az MGE Ifjú Szakemberek Ankétján 1977. május 20-án.

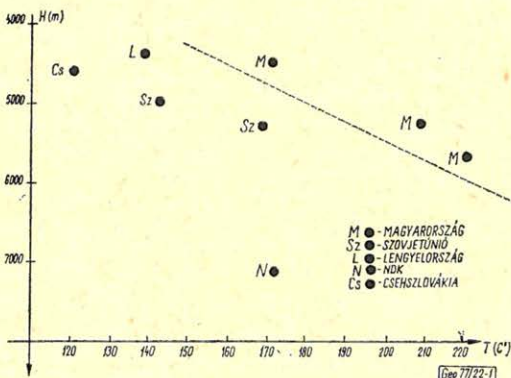
\*\* OKGT



Egy adott körzet geotermikus jellemzőit, (hőmérséklet, gradiens, hővezetőképesség, stb.) elsősorban a szilárd kéreg vastagsága, szerkezeti helyzete, földtani szelvényének litológiai összetétele, a rétegsort alkotó kőzetek kőzetfizikai jellemzői, (sűrűség, porozitás, stb.) a pórusteret kitöltő tároló tartalom, illetve annak áramlása határozza meg.

A fúrás által harántolt kőzetek hővezetőképessége széles határok között változik, 2,8–5,1 W/m·K-al jellemezhetők a medencealjzatot alkotó kőzetek, jóval kisebb értékkel a neogén üledéket alkotó anyagok (0,6), homokok (2,1), de jelentős eltérés van a víz (0,6), olaj (0,14) és a gáz (0,05) hővezetőképessége között is.

Néhány hazai és külföldi nagy-, illetve szuper-nagymélységű fúrás hőmérséklet-értéke látható az 1. ábrán. Ha a rendelkezésünkre álló itt ábrázolt adatokból megnézzük pl: az NDK-ban levő Loissin-I-t, és a hazai Lovászi-II. számú fúrást, jól látszik, hogy míg az előbbinek 7100 m-es talpmélységében 171 °C a talphőmérséklet, addig az utóbbi fúrás 4500 m-es talpánál már 170 °C a talphőmérséklet értéke. Ez 28,1 °C/km-nek felel meg, de vannak olyan területeink, ahol 2000 m-ben 139 °C-t mértünk, ami 65 °C/km geotermikus gradiens-értéket jelent.



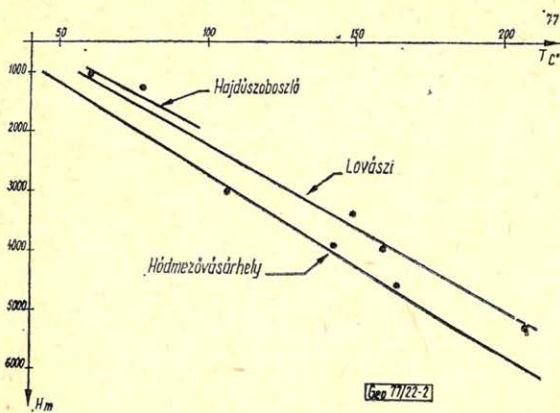
1. ábra: Összehasonlítás hazai és külföldi, nagy- és szuper-nagymélységű fúrások hőmérséklet értékei között

Рис. 1. Сравнение данных температур в глубоких и сверхглубоких скважинах имеющих в Венгрии и за границей

Fig. 1. Comparison of temperature values obtained in Hungary and abroad in deep and superdeep wells.

Az itt összehasonlított adatok is igazolják a hazai kiugróan magas geotermikus gradiens-értéket, ami a szilárd kéregszerkezetből adódik. Ezért a magyarországi mélyfúrások karotázis-vizsgálatánál, a bonyolult földtani adottság és a fúrásokban levő nagy hidrosztatikai nyomás mellett a kiugróan magas hőmérséklet-érték okozza a legnagyobb problémát.

Hazai geotermikus gradiens-értékeket mutat be a 2–3 számú ábra. Ezekon látható az egyes területekre (2. ábra), illetve konkrét kutakra (3. ábra) megrajzolt görbék meredek lefutása, ami szintén jól szemlélteti az extrém geotermikus gradiens értékeket.



2. ábra. Néhány terület mélység-hőmérséklet függvénye

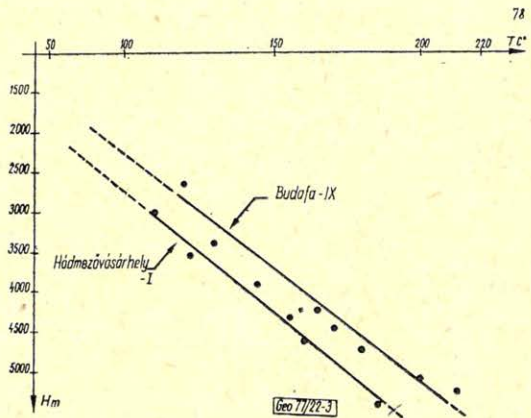
Рис. 2. Зависимость между глубиной и температурой для нескольких районов

Fig. 2. Relationship depth vs. temperature for several areas.

3. ábra. Hód – I; B – IX. számú nagymélységű fúrások mélység-hőmérséklet-függvényei

Рис. 3. Зависимость между глубиной и температурой в сверхглубоких скважинах ХОД-1 и Б-1Х

Fig. 3. Depth vs. temperature functions of deep wells Nr. Hód – I; B – IX.



Szokatlanul magas és területenként is rendkívül változó réteghőmérséklet-értékek követelik meg a rendszeres és nagyszámú talphőmérséklet-mérést, és a kapott mérési adatok minél hatékonyabb feldolgozását, mert csak így lehet megbízhatóan hőmérséklet-előrejelzést adni a további kutak tervezéséhez.

A hazai területek szénhidrogénkutatásra alkalmas körzeteiben évente 100–150 fúrás mélyül. Ezek különböző mélységeiben végzett szelvényezésekhez kapcsolódóan mintegy 700–800 db maximum-hőmérsékletmérést végeztünk. Ez a viszonylag magas mérési szám is igazolja, hogy ez egyike annak a karotázstechnikában alkalmazott mérési módszernek, mely minimális idő-, munka- és anyagi- (tulajdonképpen „melléktermékként”) ráfordítás mellett, hasznos, széleskörű információ-szerzési lehetőséget ad.

A mérések kivitelezése úgy történik, hogy a szelvényezési célból beépített szondához, lyukelektronikához csatlakoztatjuk a 3 db maximum-hőmérőt magába foglaló tartót. A hőmérők külön tokba vannak berakva. A megfelelő hőkontaktus biztosítása végett és a mechanikus károsodás csökkentésére, a hőmérők által szabadon hagyott tér szilikon-olajjal van feltöltve, a lezárás pedig „O” gyűrűvel történik.



Az így szerelt hőmérőket a lyukműszerekkel együtt a szelvényezési programnak megfelelő legnagyobb mélységig engedik le, ahol azok pontszerű mérés-ként rögzítik az uralkodó hőmérsékletet. A hazai gyakorlatban használt maximum-hőmérők méréshatára 30 – 200 °C, illetve 70 – 270 °C.

A 3 db hőmérő alkalmazása azért szükséges, hogy a mérés megbízhatóságát növeljük. A hőmérséklet-mérések mellett regisztrálják a cirkuláció leállításától a mérésig eltelt időket is. A mélység-paramétert a talpon rögzítve a mért hőmérséklet csak az idő függvénye.

A jó mérés kivitelezhetősége érdekében biztosítani kell a méréshez a megfelelő pontosságú, rázásállóságú higanyos hőmérőket. Egységesnek kell lennie a megfelelő hőtáadás érdekében a tokozásnak, tokban való rögzítésnek, a feltöltő folyadékanyagának (pl: szilikonolaj), a feltöltés mértékének. Ahhoz, hogy reális mérési értékeket kapjunk, a mérést iszappal feltöltött kútban kell végezni, és meg kell akadályozni a gázbelépést.

Az erős hűtést jelentő kiépítést követő leolvasás hibájának (kb: 2 – 3 °C) korrigálását nem célszerű elvégezni, mivel nagyságrenddel nagyobb az eltérés a sztatikus és mért hőmérsékletek között, illetve a korrigált és korrigálatlan értékekből számított valódi réteghőmérséklet-értékek számszerű viszonyában jelentéktelen az eltérés.

A fúrólukban a karotázs-mérésekkel párhuzamosan maximum-hőmérővel végzett talphőmérséklet-mérések értékei, bár különböző mértékben, de eltérnek a valódi réteghőmérséklettől, ugyanis az adott mélységben végbemenő iszapcirkulálás, azaz a nagy folyadékáramlás, hőcserét idéz elő a kút és a harántolt kőzetek közötti ami azok átmeneti hőmérséklet-csökkenését eredményezi. Az eltérés nagysága annál nagyobb, minél kevesebb idő telt el a cirkuláció megszüntetésétől a talphőmérsékletmérés megkezdéséig. Ezt az eltérést hivatott csökkenteni, illetve a különböző feltételek mellett kapott adatokat egységes alapra vonatkoztatni a következő eljárás.

A kút „előléte” nagyon nehezen követhető, s az általunk alkalmazott, egy adott talpmélységben legalább két mérést megkövetelő módszer szükségtelenné teszi ennek ismeretét. A fúrófolyadék cirkulációjának leállítását követően az iszap hőmérsékletének a réteg hőmérsékletéhez való „spontán” kiegyenlítődési folyamatát az idő függvényében ábrázolják, kétszeres logaritmikuskálán, különböző lyukátmérők mellett a 4. ábrán látható elméletileg lezármaztatott  $\Delta T/\Delta T_0$  görbék, ahol:

$\Delta T$ : a  $T_r$  réteghőmérséklet és egy  $t$  időpontban mért  $T$  talphőmérséklet különbsége,  $\Delta T_0$ : a  $T_r$  réteghőmérséklet és a cirkuláció leállításakor a  $t_0$  időpontbani  $T$  talphőmérséklet különbsége.

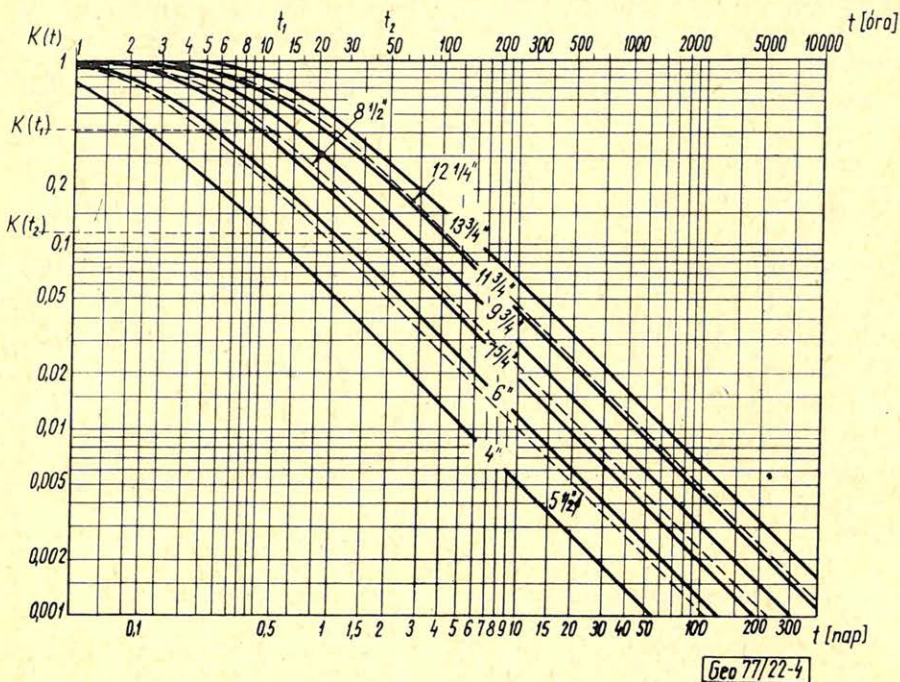
A  $\Delta T/\Delta T_0$  függvényeket  $K(t)$ -vel jelöljük.  $K(t)$  értéke a  $d$  lyukátmérő, és a  $t$  idő függvényében változik az alábbi képlet szerint

$$K(t) = 1 - e^{-d^2/8t \cdot 10^3},$$

ahol:  $d$  = lyukátmérő,  
 $t$  = a mérés időpontja.

A  $\Delta T/\Delta T_0$  értékek helyére a  $T_r$ ,  $T(t)$ ,  $T(t_0)$  értékeket beírva (amik rendre a réteghőmérséklet, az öblítés leállítását követő  $t$  időhöz tartozó, illetve az öblítés





4. ábra. A fúróluk hőmérsékletének időbeni változása

Рис. 4. Изменение температуры скважин во времени

Fig. 4. Temporal variation of well temperature.

leállításakor a  $t_0$  időponthoz tartozó hőmérsékletek) a következő egyenletet kapjuk:

$$(T_r - T(t)) / (T_r - T(t_0)) = K(t).$$

Ha két különböző időben mérjük a  $T(t_1)$  és  $T(t_2)$  azonos mélységhez tartozó talphőmérsékletet és az ezekhez tartozó  $K(t_1)$  és  $K(t_2)$  értékeket kiszámítjuk, két egyenletet kapunk:

$$T_r - T(t_1) = K(t_1) \cdot (T_r - T(t_0)),$$

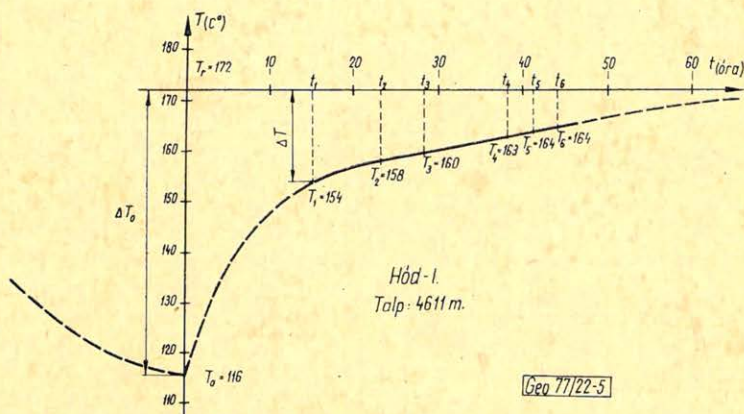
$$T_r - T(t_2) = K(t_2) \cdot (T_r - T(t_0));$$

ezekből  $T_r$  és  $T(t_0)$  értékek számíthatók.

Az 5. ábrán konkrét példa mutatja be a Hódmezővásárhely I. számú fúrás 4611 m-es talpmélységében a fent ismertetett módszer segítségével számított réteghőmérséklet-értéket. Az eredmény megbízhatósága növekszik a „t” idők, a  $K(t)$  értékek helyes meghatározásával és a  $t_2$ ,  $t_1$  időkülönbség növelésével. Az ábrán feltüntettük a különböző időszakban mért talphőmérséklet- és a számított  $T(t_0)$  és  $T_r$  értéket az öblítés leállítása után eltelt ( $t$ ) idők függvényében. Jól látszik az öblítés által lehűtött rétegeknek a cirkuláció leállítását követő visszamelegedési folyamata. A hőmérséklet a  $t_0$  időpont után az idő függvényében exponenciális görbeként korábban intenzív, később egyre enyhébb felfutással



tart a kőzet valódi réteghőmérséklete felé. Az öblítés hatékonyságának függvényében a  $T_0$  érték csökkenésével vagy növelésével a görbe alakja enyhébb, vagy meredekebb lefutást vehet fel.



5. ábra. Következtetés a réteghőmérsékletre

Рис. 5. Расчет пустовой температур на основании измеренных данных

Fig. 5. Conclusion to bed temperature

Ezen összefüggések alapján, a feldolgozás során TPA-70 tip. számítógéppel a mért talphőmérséklet-adatokból a mérési helyeken megfelelő lokális réteghőmérséklet-értékeket számítottuk, majd ezekből lineáris regresszióval építettük fel az adott szerkezet mélység-hőmérséklet összefüggését. A feldolgozást az ismertetett eljárással 46 területre végeztünk el, az alaphelység felszínéig.

Az így számított réteghőmérséklet-értékeket adja 500 m-enként az 1. táblázat DK-Magyarország területén.

Ezek felhasználásával az adott medence üledékvastagságában megszerkeszthető az izoterma térkép (de az aljazaton túl nem extrapolálhatunk), melynek segítségével a terület tetszőleges, kutatási szempontból számításba jövő helyére megkapható a várható műveleti hőmérsékleti érték. A lehűtés és visszamelegedés átmeneti jelenségének figyelmen kívül hagyásával, a rendelkezésre álló nyers adatok lineáris regressziójával készült a 6-os és 7-es ábra, mely az adott terület 2000 és 2500 m-es mélységben adja meg az izotermákat.

DK-Magyarország Szeged-Békési medencéje két adott mélységében (2000 – 2500 m) a számított valódi réteghőmérséklet-értékek alapján a megadott módszer segítségével került megszerkesztésre a 9. és 10. ábra mely természetesen a valóságot hűbben tükrözi.

A térképet összehasonlítva a 8. ábrán látható kristályos medencealjzat alaphegység-térképével látható, hogy jó összhangban van a terület földtani szerkezetével, vagyis az alacsonyabb, illetve magasabb réteghőmérséklet-értékek jól követik az alaphegység azonos területre eső mélységváltozásait. Minél közelebb vagyunk az alaphegységhez, annál inkább tükröződik a szerkezeti változottság, az alaphegységtől távolodva ez a kép egyre inkább kisimul. Ahol az alaphegység magasabb szerkezeti helyzetben van, ott magasabb réteghőmérséklet-értékeket kaptunk, mint a nagyobb üledékvastagság esetén, mivel a nagy

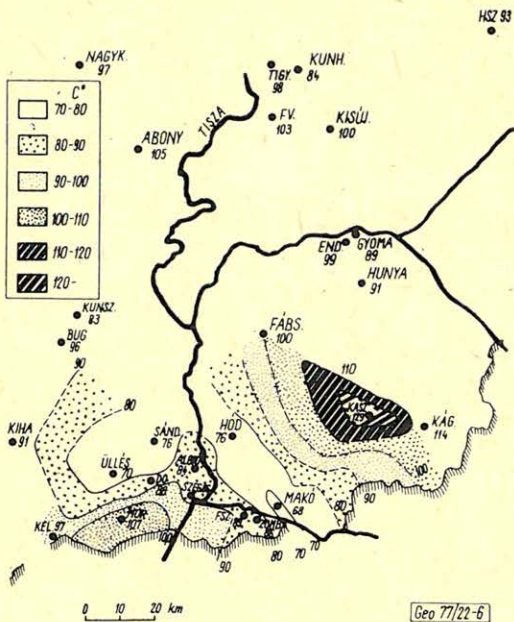


## Számított réteghőmérséklet-értékek DK-Magyarország területén

## Calculated bed temperature values in SE part of Hungary

Terület/Mélység (m)	500 °C	1000 °C	1500 °C	2000 °C	2500 °C	3000 °C	3500 °C	4000 °C
1. Algyó .....	34	55	76	97	119	140		
2. Ártánd .....	32	54	75	97	119	141	163	184
3. Biharugra .....	48	66	85	104	122	141		
4. Bugac .....	32	54	76	98				
5. Cegléd – D .....	34	58	81	105				
6. Csanádapáca .....	45	76	107	139				
7. Dorozsma .....	32	54	75	97	118	140	161	
8. Endrőd .....	37	62	87	112	138	63		
9. Fegyvernek .....	35	62	86	112	137	163	188	
10. Felgyő .....	32	52	71	90	110	129	149	168
11. Ferenczszállás .....	35	59	82	106	130	153	177	
12. Forráskút .....	52	71	91	110	129	148	167	
13. Füzesgyarmat .....	38	65	91	118	145			
14. Gyoma .....	34	58	82	106	130	153		
15. Hódmezővásárhely .....	31	49	68	86	104	123	141	159
16. Hunya .....	34	58	81	105	128	152	175	198
17. Jákabszállás .....	34	57	80	103	126			
18. Kaszaper – D .....	37	63	80	115				
19. Kelebia .....	36	61	86					
20. Kiskunhalas – ÉK .....	43	66	88	110	132			
21. Kiskőrös .....	35	58	82	105	129			
22. Kiszújszállás .....	34	60	85	111				
23. Komádi .....	35	58	82	105	129			
24. Kömlő .....	36	59	83	107	131	155	179	203
25. Kömpöc .....	25	46	67	89	110	131	152	
26. Kunhegyes .....	35	59	82	106	130			
27. Kiskunszállás .....	31	51	71	91				
28. Makó .....	30	49	69	89	108	128	147	167
29. Medgyesbodzás .....	41	69	98	127				
30. Mezőkovácsháza .....	39	67	96	124				
31. Mezősas .....	36	62	88	115	141			
32. Mórahalom .....	38	62	86	110	134			
33. Nádudvar – DK .....	38	63	88	113	138	163		
34. Nagykőrű .....	32	53	74	96	117	138	160	
35. Orgovány – B .....	40	61	82	103				
36. Püspökladány .....	36	64	91	119	146			
37. Sándorfalva .....	26	48	69	90	112	133	154	176
38. Sarkadkeresztúr .....	40	59	79	98	118	138	157	
39. Szank .....	35	59	84	108				
40. Szeged .....	58	77	96	115	134	152		
41. Tabdi .....	38	65	92	119	146			
42. Tiszagyenda .....	32	54	76	98	120	141	163	185
43. Tiszapüspöki .....	32	57	82	107	131	156	181	
44. Tiszaroff .....	34	56	78	100	122	144	165	187
45. Újszentiván .....	31	52	72	92	113	133	153	174
46. Üllés .....	46	69	91	144	136			

fajlagos ellenállású, jó hővezetőképességű alaphegység több belső hő feláramlását teszi lehetővé. Ezt a jelenséget igen markánsan szemlélteti a 9. és 10. ábrán is jól megfigyelhető Makó-Hódmezővásárhely-i árok és a Csanádapáca-környéki kiemelkedés hőmérséklet-anomáliája. Ezek között a 2500 m-es mélységben a



6. ábra. Izotermák DK-Magyarország 2000 m-es mélységében

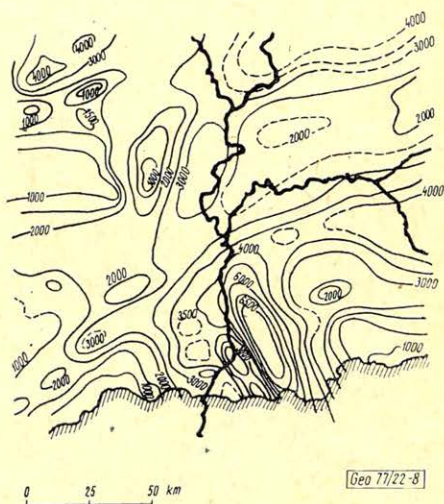
Рис. 6. Карта изотерм юго-восточной части Венгрии на глубине 2000 м.

Fig. 6. Isotherms for 2000 m depth in SE part of Hungary

7. ábra. Izotermák DK-Magyarország 2500 m-es mélységében

Рис. 7. Карта изотерм юго-восточной части Венгрии на глубине 2500 м.

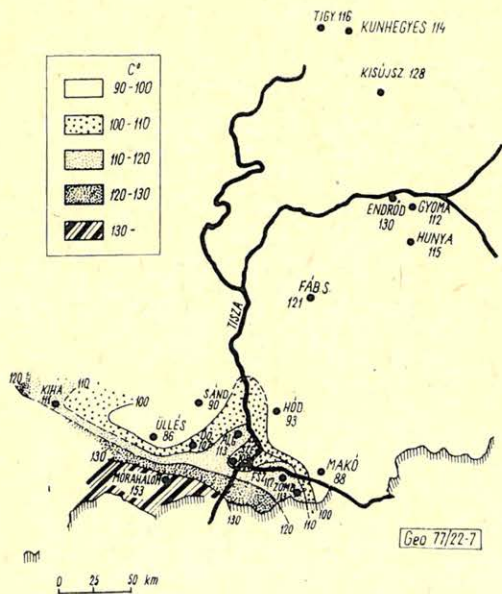
Fig. 7. Isotherms for 2500 m depth in SE part of Hungary



8. ábra. DK-Magyarország kristályos medencealjzatának mélységtérképe

Рис. 8. Структурная карта кровли кристаллического основания юго-восточной части Венгрии

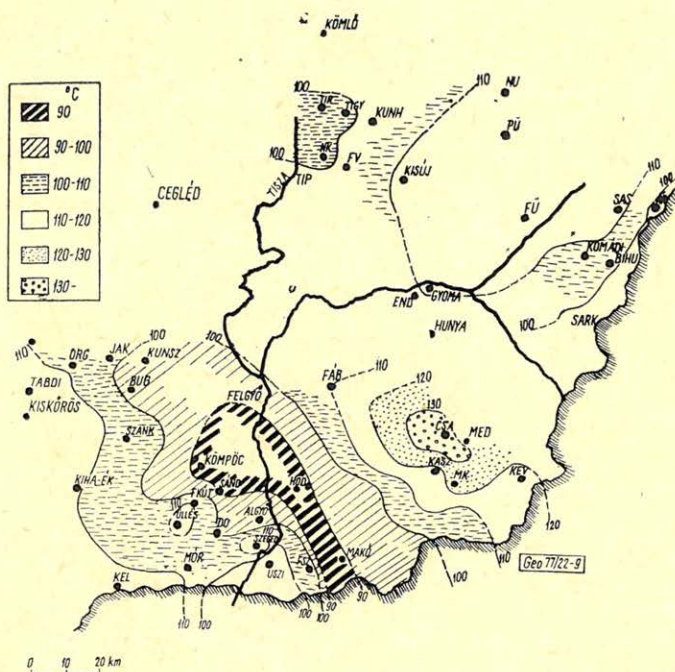
Fig. 8. Depth map of the crystalline basement of the basin in SE part of Hungary





hőmérséklet eltérés több mint 50 °C, ami Csanádapáca környékén kb 1,5-szer nagyobb geotermikus gradiens-értéket mutat, mint a makói árokban. A térképen jól tükröződik a Duna-Tisza közti medencealjzat tendenciózus emelkedése is. A Békés-i medence és a flis találkozásánál a feldolgozásban kevés megfelelő adattal rendelkezünk a térképek megbízható szerkesztéséhez.

Az ELTE Geofizikai Tanszékén jelenleg is folyó hasonló célú feldolgozás első eredményei (pl: Hódmezővásárhely – I., Bárszentmihályfa – I; számú) nagymélységű fúrásokban 1 °C-on belüli egyezést mutattak az általunk számított réteghőmérséklet-adatokkal.



9. ábra. Réteghőmérséklet DK-Magyarország 2000 m-es mélységében

Рис. 9. Пластовая температура юго-востока Венгрии на глубине 2008 м.

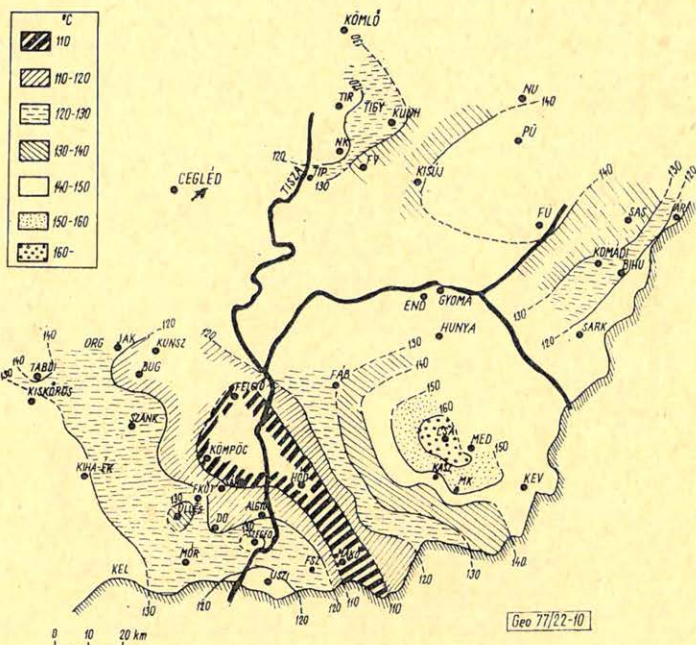
Fig. 9. Bed temperatures at 2000 m depth in SE part of Hungary

A bemutatott izoterma térképeket, a fúrásoktól nyert talphőmérséklet adatok alapján számított lokális réteghőmérséklet értékekből kaptuk, lineáris interpolációval. E fúrások nagy többségükben a szeizmikusan kimutatott szerkezetek tetőszintjére települnek. Így a térképek a szerkezetek tetőszintjén számított réteghőmérsékletekre végzett interpoláció alapján készültek, ezért a szerkezetek közötti mélyebben fekvő területek várhatóan valamivel alacsonyabb geotermikus gradiensűek. Ennek alapján a konkrét szerkezetek figyelembevételével a továbbiakban lehetőség van a térképek ilyen irányú pontosítására. Erre ad lehetőséget pl: a lineáris interpoláció helyett a szerkezeti lefutást figyelembe vevő interpoláció, melynek azonban gyakorlatban való alkalmazása bonyolult feladat.

A mért, illetve a számított réteghőmérséklet-adatok feldolgozásával széleskörű, hasznos információkat kaphatunk, egy adott terület (szerkezet) további



kútjai mélyítéséhez. Fúrás technikailag a hőmérséklet ismerete segítséget ad, és meghatározza a kútkiképzés, mélyítési technológia tervezését, megfelelő fűrészap, cementező- (kötés, gyorsító, lassító) anyag alkalmazását, cementkötési időt.



10. ábra. Réteghőmérsékletek DK-Magyarország 2500 m-es mélységében

Рис. 10. Пластовая температура юго-востока Венгрии на глубине 2500 м.

Fig. 10. Bed temperatures at 2000 m depth in SE part of Hungary

A mélyfúrás geofizika felkészülésében, eszköz és műszerparkjának kialakításában, fontos szerepe van az ismert igen magas geotermikus gradiens-értékeknek. A hazai viszonylatban alkalmazott eszközöket 180 – 230 – 260 °C hőmérséklet-értékhatárokra fejlesztik ki. A műszerek hőállósítása 180 °C hőmérséklet-értékig megoldott. Az egyes szelvényezési programok végrehajtásában a nehézséget a 180 °C-nál magasabb hőmérséklet jelenti. A növekvő hőmérséklet korlátozza a mérési lehetőséget és csökkenti a szelvényezési választékot is. Lényeges a valódi hőmérséklet ismerete az egyes szelvényparaméterek hőmérséklet-korrekciója végzésében, segédadat a gázkészlet-becslésben.

Az adott mélységben uralkodó hőmérséklet-értékek megbízható ismerete közvetlen segítséget nyújt a fűrés geológiai-geofizikai értékeléséhez, és belőlük következtetés vonható le az adott szerkezet felépítésére is.

#### IRODALOM

1. Dr. Stegena Lajos: MAGYARORSZÁG GEOTERMİKUS TÉRKÉPEI BUDAPEST 1971.
2. В. Н. Дахнов и Д. И. Дьяконов: «Термические исследования скважин». МОСКВА 1952  
Гостоптехиздат