

A geotermikus vizsgálatok eredményei Lengyelországban

PLEWA S.

Szerző vizsgálatokat végzett a geotermikus gradiens meghatározására és elemezte annak értékeit.

A Lengyel Népköztársaság területén egy határérték figyelhető meg a geotermikus gradiensben, mégpedig a kismélységű keleti kristályos alaphegység területén.

A kristályos alaphegység területén telepített fúrásokban 50 – 100 m/C° értékű gradiensek figyelhetők meg. Lengyelország egyéb területeire 33 – 49 m/C° közötti gradiensek jellemzők.

Vizsgálatainál szerző olyan fúrásokat használt fel, amelyekben a geotermikus lyukszelvényezett a fúrás leállítását követően legalább 15 nappal végezték el. A hőmérsékletmérés hibája így nem haladta meg a $\pm 0,1$ C°-ot.

A különböző közettípusoknál megállapította a fajlagos hőellenállást, továbbá megvizsgálta annak változását a porozitási együttható változásának függvényében.

Ugyancsak meghatározta a hőáramok értékét; ez ott, ahol a keleti kristályos alaphegység kis mélységben található, $0,9 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec körül, Lengyelország egyéb területein pedig $1,2 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec körül van.

A kőzetek fajlagos hőellenállását a kőzetmintákon impulzusos módszerrel határozták meg, a geotermikus gradienst pedig elektromos hőmérők segítségével mérték.

Геотермические исследования в Польше производили главным образом А. Арцтовски и Е. Стенц. Исследования касались измерений геотермической ступени для нескольких районов Польши. От 1953 г. автором производятся геотермические исследования, главным образом с целью установления геотермической ступени, причем особое внимание уделено определению удельного теплового сопротивления пород а также теплового потока земли.

Auf dem Gebiete der Polnischen Volksrepublik ist ein Grenzwert des geothermischen Gradienten beobachtbar, und zwar in der Gegend des in kleiner Tiefe befindlichen östlichen kristallinen Grundgebirges. Man hat in den hier abgeteuften Bohrungen einen Wert von 50 – 100 m/C° für die Gradienten erhalten, gegenüber den für die übrigen Gebieten Polens charakteristischen 33 – 49 m/C° Werten.

Zur Untersuchung wurden nur die Daten solcher Bohrlöcher benutzt, wo die geothermische Kernung wenigstens 15 Tage nach der Einstellung der Bohrung ermittelt wurde. Somit hat der Messfehler der Temperatur den Wert $\pm 0,1$ C° nicht überschritten.

Bei den verschiedenen Gesteinstypen wurden die spezifischen Widerstände, sowie deren Aenderungen als Funktionen der Aenderung der Porositätskoeffizienten festgestellt.

Ebenso wurden die Werte des Wärmestroms bestimmt. Sie betragen etwa $0,9 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²sec auf dem Gebiete des zechstein kristallinen Grundgebirges und etwa $1,2 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²sec auf den übrigen Gebieten.

Der spezifische Widerstand der Gesteine wurde auf Kernproben mit der Impulsmethode, der geothermische Gradient mit elektrischen Thermometern bestimmt.

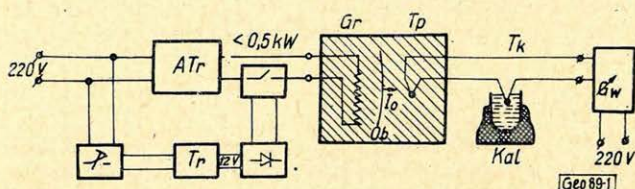
Lengyelországban a geotermikus vizsgálatokat főként A. Arctovszki és E. Sztenc végezték. A vizsgálatok a geotermikus gradiens tanulmányozására terjedtek ki Lengyelország néhány területén. 1953 óta a szerző is végez geotermikus vizsgálatokat, főleg a geotermikus gradiens meghatározására. Különös gondot fordítunk a kőzetek hőellenállásának, valamint a Föld hőáramának meghatározására.

A kőzetek termikus jellemzőinek meghatározása

A kőzetek termikus sajátosságainak meghatározására a szerző a Ljubimova által javasolt impulzusmódszert alkalmazta. A módszer lényege abban áll, hogy lemérjük a mesterséges hőáram terjedési sebességét a kőzetben egy-

mástól r távolságra levő két lyukban. Az egyik lyukba helyezük el a hőforrást, azon keresztül néhány másodpercen át áramimpulzust bocsátunk; ez gyakorlatilag pillanatnyi hőforrást létesít. A másik lyukba helyezett hőmérő (hőelem) és galvanométer segítségével regisztráljuk a hőmérsékletnek a Q_{\max} maximális időig való növekedése idejét (t_{\max}). A kapott t_{\max} , Q_{\max} értékek alapján meghatároztuk a közetek termikus sajátosságait.

Az 1. ábra mutatja be a közetek termikus tulajdonságainak meghatározására alkalmazott berendezés kapcsolási rajzát. A hőforrás (Gr) $f = 0,6$ mm-es króm – nikkelt vezetőből áll, amely 3 másodpercen keresztül 15 A-ig terjedő árammal terhelhető. A kísérletek során alkalmazott áramerősség: 12–13 A. Az autotranszformátorról a hevítőre juttatott maximális feszültség 3 másodpercen át 50 V, 5 másodpercen át pedig 40–50 V volt. A hevítő sugara 0,031 cm, hosszúsága pedig $2 l = 6,4$ cm. A mérésekhez a két hőelemes eljárást alkalmaztuk (a hőelemek minőségileg azonosak, réz-konstantán), ezek közül az egyik a mérő (T_p), a másik az ellenőrző (T_k) hőelem.



- ATr - autotranszformátor
 Tr - transzformátor
 K - kapcsolóóra
 \swarrow - kapcsoló
 \rightarrow - egyenirányító
 T_p - mérő termoelem
 T_k - kompenzáló termoelem
 Kal - kaloriméter
 G_w - galvanométer

1. ábra. A közetek termikus tulajdonságainak mérésére szolgáló berendezés

A mérések során a T_p hőelemet a vizsgált magmintába fűrt speciális lyukban helyezük el, a T_k hőelemet pedig vízzel töltött kaloriméterben. A T_p hőelemet az eredeti „egyensúlyi helyzetre” jellemző hőmérséklethez viszonyított hőmérsékletnövekedés leolvasására használtuk. A T_k hőelem az elektrodinamikai erő kompenzálására szolgált, azzal a céllal, hogy a mérőműszer teljes skálája (maximális érzékenysége) legyen kihasználható. Mérőműszerként egy $4,9 \cdot 10^{-9}$ A/sk. o. érzékenységu galvanométer szolgált.

Az ismertetett hőforrás a számítások során nem tekinthető pont vagy gömbszerűnek. Ezért esetünkben a hőmérsékletnek végtelen közegben elhelyezett végtelen hosszú, vékony forrás körüli megoszlását megadó formula használható:

$$\Theta_{(rt)} = \frac{Q}{4\pi c \delta a t} \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$$

ahol:

c — a hőkapacitás,

a — a hővezetőképesség együtthatója,

δ — a sűrűség,

Q — a forrás egységnyi hosszára eső hő mennyisége.

Az a és $c\delta$ értékeket a $\frac{\partial\Theta}{\partial t}$ gyakorlati összefüggésből határoztuk meg az alábbi képlet segítségével:

$$a^2 = \frac{r^2}{4t_{\max}} \quad c\delta = \frac{Qe^{-1}}{\Theta_{\max}}$$

ahol: t_{\max} — az az időpont, amikor az adott pontban

$$\Theta = \Theta_{\max}.$$

A Tp hőelem és a kőzet közötti kontaktust érintkezéssel, a hőforrás és a kőzet közötti kontaktust pedig alumíniumoxid-porral biztosítjuk.

Az impulzus idejét elektronikus órával regisztráltuk és ez 1–3 sec volt. Az impulzus véges időtartamával és a magminta véges méreteivel kapcsolatos hatások 1%-ot meg nem haladó hibát jelentenek. Jelentősebb az a hiba, amely a kőzetek termikus tulajdonságainak meghatározásában a magmintafelület hőkisugárzása miatti hőveszteségek, továbbá a hevítőnek és a hőelemnek a vizsgált kőzettel való nem ideális érintkezése folytán merül fel. A hiba nagyságát empirikusan határoztuk meg. Az alkalmazott képletek az alábbi alakban írhatók fel:

$$a = \frac{R^2}{4t_{\max}} \quad c\delta = \frac{Ae^{-1}}{\Theta_{\max}\pi R^2}$$

ahol az R és A értékeket kísérletileg határoztuk meg.

A szerző a kőzetek termikus tulajdonságait Lengyelország jellegzetes területeire határozta meg.

A tipikus kőzetek közül részletesen vizsgáltuk a lengyel kőszenek hőellenállását a hamutartalom függvényében (A_p).

Megállapítást nyert, hogy a kőszenek fajlagos hőellenállása csökken a hamutartalom növekedésével, nevezetesen az $A_p = 3\%$ -os hamutartalomra jellemző kb. 5,9 m·óra/C°/kkal értékről az $A_p = 29\%$ -os hamutartalomra jellemző 3,9 m·óra/C°/kkal értékre.

Az észlelt összefüggés a szóban forgó paraméterek között lineárisnak tekinthető. Az eredmények általános elemzéséből az következik, hogy a táblás területeken kibúvó kőzetek fajlagos hőellenállása nem sokkal kisebb, mint Lengyelország egyéb területein felszínre jutó azonos kőzeteké. Kivételt csak egy, a Lengyel Táttra északi részén mélyített fúrás kőzetei képeznek.

Kőzettípus	m/óra C°/kkal
Anhidrit	0,24 – 0,26
Dolomit	0,22 – 1,07
Iszap	0,20 – 3,40
Pala	0,46 – 1,87
Márga	0,62 – 1,02
Homokkő	0,20 – 0,89
Kősó	0,12 – 0,34
Mészkö	0,52 – 1,54
Kőszén	3,9 – 5,82

A geotermikus gradiens meghatározása

1904-ben *F. Geurik* (8) közzétette a paraüsoveci fúrásban kapott vizsgálati eredményeit. Ezek az eredmények az első ismert adatok Lengyelországban a geotermikus gradiens (H) meghatározása terén. A különböző szerzők által megállapított H értékek olykor jelentős mértékben eltérnek egymástól. Így például *B. Brockamp* (5) a lebai fúrásban $H = 64 \text{ m/C}^\circ$ értéket, a pisui fúrásban pedig 91 m/C° értéket számított. Ugyanakkor *E. Sztenc* a lebai fúrásra $36,4 \text{ m/C}^\circ$ értéket, a pisui fúrásra pedig 70 m/C° értéket fogadott el.

A szerző vizsgálatokat hajtott végre a lebai fúrásban. E vizsgálatok eredményeit a 2. táblázat tartalmazza.

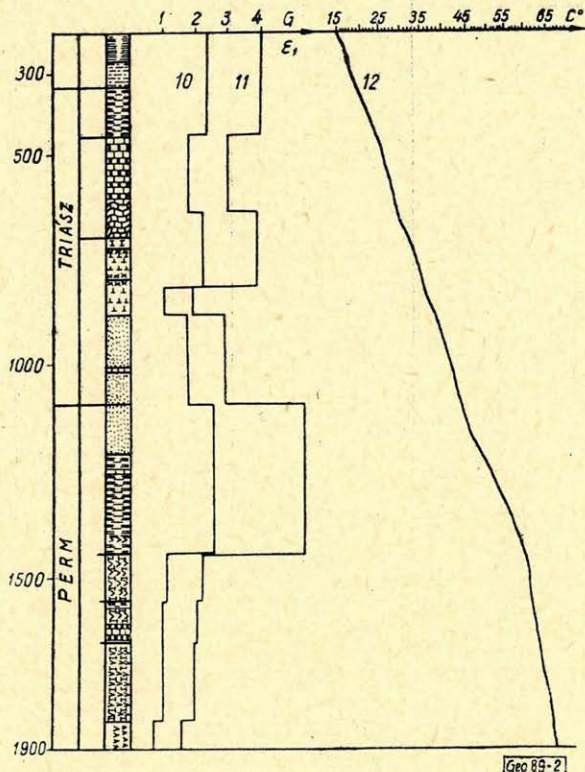
2. táblázat

Vizsgált mélységintervallum	A m/C° átlag	C°/100 m átlag
138 – 500 m	75,4	1,33
138 – 1000 m	75,6	1,32
138 – 3300 m	38,6	2,60

A táblázatban közölt adatokból látható, hogy H értéke $75,6 - 75,4 - 38,6 \text{ m/C}^\circ$ között változik. Az első két értéket közvetlenül befolyásolja a kréta ($H = 70,6 \text{ m/C}^\circ$) és a triász ($H = 56,1 \text{ m/C}^\circ$) kőzetek fajlagos hőellenállása, és elsősorban a perm kőzeteké, amelyeknél a termikus tényező értéke $121,4 \text{ m/C}^\circ$. 3300 m mélységig a geotermikus gradiens értékét a szilur és ordovicium kőzeteinek $31,8$ ill. $32,5 \text{ m/C}^\circ$ értékű fajlagos hőellenállása befolyásolja (ezek összvastagsága 2000 m). A geotermikus gradiens viszonylagos értékváltozásának a táblázatban feltüntetett adatai magyarázatot nyújtanak arra, hogy miért van eltérése a *Brockamp*, ill. *Sztenc* által kapott értékek között. *Brockamp* valószínűleg kb. 1000 m mélységig vizsgálta az említett fúrást és így kapta a $H = 64 \text{ m/C}^\circ$ értéket, *Sztenc* pedig a mélyebb szintek vizsgálatát hajtotta végre.

Lengyelországban végrehajtott geotermikus vizsgálatok elemzése alapján példát mutatunk be a geotermikus gradiensnek a kőzetek litológiájától függő

változására (3. táblázat). A 3. táblázat adataiból következik, hogy a H érték a B. IG – 1 fúrásban a szilurra jellemző 35,3-tól a permre jellemző 82,4-ig, ill. a krétára jellemző 122,3 m/C° értékig változik. A 2. ábrán a hőmérsékletváltozás görbéje látható a mélység függvényében, a B – I. fúrásra. Legnagyobb H értékek a lajnei Zechstein kősósorozatánál (83,7 m/C°), legkisebb értékek pedig

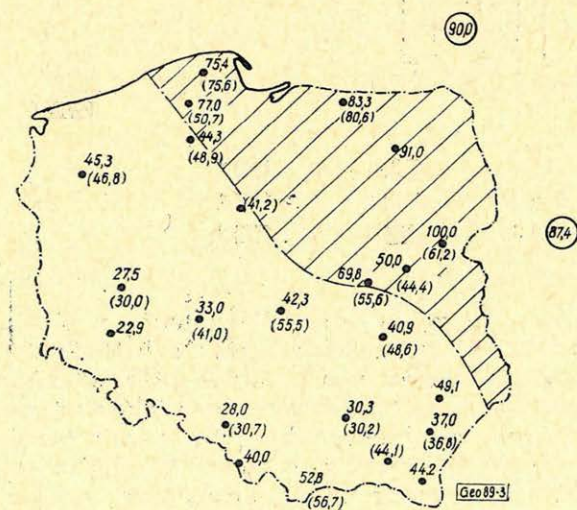


2. ábra. Termikus lyukszelvényezés a B – I fúrásban (Szudéta előmonoklinális)

1. tőzeg, 2. dolomit, 3. zöld és vörös agyag gipsszel, 4. kristályos só, 5. szürke márga, 6. szürke, mészkő, 7. anhidrit, 8. homokos agyag, 9. homokkő agyaggal, 10. a kőzetek fajlagos hőellenállás-változásának görbéje, laboratóriumi meghatározás alapján, 11. a geotermikus gradiens görbéje, 12. a hőmérsékletváltozás a mélység függvényében

az alleri Zechstein agyagsorozatánál (22,1 m/C°) vannak. Ugyanezen az ábrán, összehasonlítás céljából, a kőzetek fajlagos hőellenállását is feltüntettük. A litológiai kevéssé változó képződményeknél nem látható jelentős változás a geotermikus gradiensben. A lengyelországi geotermikus gradiens értékek összefoglalása céljából az ország térképén (3. ábra) felraktuk az 500-ig és 1000 m-ig terjedő mélységekre vonatkozó, átlagolt H értékeket. A szóban forgó térképen néhány irodalmi adatot tüntettünk fel, éspedig azokat, amelyekből reprodukálható volt a geotermikus gradiens az említett mélységekre. A 3. ábrából látható, hogy nagyobb H értékek ott adódnak, ahol a keleti kristályos pajzs kis mélységben települ. A kristályos pajzson belül észlelhető nagyobb H értékeket igazolják *Beljakov* adatai is a Belorusz SZSZK területén mélyített Polesze

Időszak		Litológia	Mélység m	H m/C° átlag	C°/100 m átlag
Kréta	felső és középső	homokosagyag	255 – 469	122,3	0,82
Júra	malm dogger liász	agyagos pala, mészkő, márga, agyag, homokkő	469 – 847	83,1	1,20
Triász		homokos agyag, homokkő, mészkő közbe településsel	847 – 1205	96,8	1,03
Perm	Zechstein vöröshomokkő	márga, anhidrit gipsszel, dolomit, vörös agyagos homokkő	1205 – 1477	82,4	1,21
Szilur Ordovicium		agyagos-pala, mészkő, homo- kos agyag, konglomerátum	1477 – 1890,5	35,3	2,83
Kambrium		kvarcitos homok- kő	1890,5 – 2122	77,2	1,29
Átlagérték	500 m-ig		255 – 500	80,3	1,24
Átlagérték	1000 m-ig		255 – 1000	80,6	1,24
Átlagérték	2122 m-ig		255 – 2122	66,7	1,50



— a tábla szegélye
 33,0 – H értéke 500 m mélységig
 (30,0) – H " 1000 m mélységig
 (90) – H " 1000 m-nél mélyebbre

3. ábra. A geotermikus gradiens térképe

fúrásban, valamint a Balti-tenger környéki egyik fúrásban. *Beljakov* a poleszei fúrásban $86,4 \text{ m/C}^\circ$ értékű geotermikus gradiens értéket állapított meg az 1000 m-ig terjedő mélységekben. A Balti-tenger környékén ez az érték $90,0 \text{ m/C}^\circ$. (Itt nincsenek adatok a vizsgálatok mélységhatárára vonatkozóan.)

Meg kell jegyeznünk, hogy a nyugat-ukrajnai kőolajterületeken ugyanolyan nagyságrendű geotermikus gradiensek észlelhetők, mint Lengyelország kárpáti kőolajterületein.

A táblás területen kívül nagy geotermikus gradiensértéket állapítottunk meg a *Z-1* fúrásban (a Lengyel Tátra északi részén). Nevezetesen: 500 m mélységig $52,8$; 1000 m mélységig $56,7$ és 2990 m-ig $53,4 \text{ m/C}^\circ$ érték adódik. Az elemzéshez azokat a hőmérsékleti görbéket használtuk fel, amelyeket $\pm 0,1 \text{ C}^\circ$ hibával kaptunk. A fúrás minimális „nyugalmi” ideje 12 nap. A mérések elektromos hőmérővel folytak.

A Föld felszíni hőárama sűrűségének Lengyelország területén történő meghatározására

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

képletet alkalmaztuk; illetőleg, a rétegsor mentén változó gradiens esetében a

$$q = \frac{dT}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i}}$$

képletet, ahol

- h_i — az *i*-edik réteg vastagsága,
- λ_i — a réteg hővezetőképessége,
- n — a rétegek száma.

A földi hőáramsűrűség meghatározása a különböző területeken, a hőmérsékletmérések és a hővezetőképesség mérések alapján lehetővé teszi a nagy mélységekben lejátszódó geofizikai folyamatok megismerését. A hőáram sűrűsége egy ponton a hóforrásoktól a fúróluk vizsgált szakaszában és az ez alatt levő kőzetek termikus tulajdonságaitól függ. Ennek megfelelően tehát olyan paraméter, amely a földkéreg mély rétegeire jellemző.

Az átlagértéket a $30 \text{ C}^\circ/\text{km}$ átlagos geotermikus gradiensből kiindulva a kőzetek említett $0,004 \text{ cal/sec. cm. C}^\circ$ fajlagos hőellenállása alapján határoztuk meg:

$$q = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ kcal/cm sec.}$$

Az egész Földre vonatkozóan mintegy 100 meghatározást végeztek a hőáramra vonatkozóan.

1954-ben *Birch* közölte a földi hőárammérések összesített eredményeit. Az értékek a Csendes-óceáni szigeteknél megállapított $0,4$ és a Nagy-Britannia területére megállapított $2,87 \cdot 10^{-6} \text{ kcal/cm sec}$ értékek között ingadoztak.

A 4. táblázatban közöljük a Föld különböző pontjaira megállapított értékeket, amelyeket a szerző kiegészített az 1954 után közzétett kutatási eredményekkel.

Ország, kerület, körzet, hely	K-jelölésben	Hőáramsűrűség $\text{kcal/cm}^2 \text{sec } 10^{-6}$		Az irodalom szerzője
		közép	intervallum	
Dél-Afrika	7	1,10	0,75 – 1,52	E. C. Bullard L. J. Krige
Dél-Karoo	4		1,31 \pm 0,07 1,57 \pm 0,09	D. I. Gough
Nagy-Britannia	17	1,57	0,68 – 2,87	A. E. Benfield E. C. Bullard E. R. Niblet
Atlanti-óceán	5	0,98	0,58 – 1,42	E. C. Bullard
Atlanti-óceán	14		0,3 – 6,5	R. D. Nason W. H. K. Lee
Atlanti-óceán középső rész			1,2 – 1,54	J. Reitzel Geward Robert
Óceáni med.				
Braziliától USA-ig	14	1,4		
Atlanti-óceáni hátság köz- zépső része	14	3,57		Geward Robert
Porto-Rico árok	14	1,17		Geward Robert
Nyugat- és Dél-Hispaniola	3	0,96	0,7 – 1,25	
Irán	18	0,87	0,53 – 1,22	H. P. Coster
Japán (Honszu)				
Inai		1,49		Uyeda Seiya
Tokió		0,74		Horsi Ki-it
Kaszima		0,76		Horsi Ki-it
Kacuta		0,91		Horsi Ki-it
Kanada	8	0,96	0,69 – 1,32 1,46 – 2,0	A. D. Misener G. D. Garland
Resolute öböl	1	2,9		A. D. Misener
Németorsz. (NDK)	13		0,6 – 2,02	K. Schössler J. Schwarzlose
Svájc	3	1,9	1,6 – 2,2	S. P. Clark E. Q. Niblotz
USA				
Kalifornia	1	1,29		A. E. Benfield
Kalifornia (Grand Valley)	1	0,89		
Kolorado	1	1,7		F. Birch
Michigan	1	0,93		F. Birch
Nyugat-Texas és Új-Mexikó	11	1,1	1,0 – 1,2	E. Herrin H. Clark
Magyar NK	2	2,05 3,03		T. Boldizsár
Budapest		1,17		Gálfi J. Stegena L.
Mátyásföld		0,83		Stegena L.
CCCP			0,8 – 0,9	S. A. Krashorskij
Belorusszia			0,61 – 1,47	D. G. Protasienja
Kaukázus		0,82		E. A. Ljubimova

Lengyelország területére nem határozták meg a hőáram értékét, E. Sztenc $1,23 \cdot 10^{-6} \text{ kcal/cm}^2 \text{sec}$ -nak vette.

A szerző meghatározta a hőáram sűrűségét Lengyelország néhány pontjában. Az áram kiszámítására a fűrólyukban meghatározott geotermikus gradiens értékeket, továbbá a magmintákon megállapított hővezetőképesség értékeit használta fel.

Az alábbiakban példát mutatunk be a Szentoksiszki antiklinorium területén lemélyített *Z-I* fúrásban végzett számításokra.

Az érték meghatározására szolgáló fentiekben közölt képlet az alábbi alakban írható fel:

$$q_k = G_k \cdot \lambda_k$$

5. táblázat

Mélység m	Fajlagos hővezetőképesség kal/cm sec C°	Kőzettípus
1. 250 – 390	0,00392	Sötétszürke agyag homokkővel
középérték	0,00408	
	0,00400	
2. 390 – 605	0,00347	Agyag homokos-márgás
középérték	0,00368	
	0,00358	
3. 605 – 900	0,00334	Konglomerát és cementált homokkő
	0,00358	
középérték	0,00346	
	0,00346	
4. 900 – 1320	0,00306	Agyag, agyagpala és palás márga
	0,00309	
	0,00294	
középérték	0,00303	
5. 1320 – 1456	0,00379	Márga és palás márga
	0,00367	
középérték	0,00373	
6. 1456 – 1743	0,00281	Mészkö, márga, agyagpala
	0,00284	
	0,00293	
középérték	0,00286	
7. 1743 – 1937	0,00300	Márga, mészkő
	0,00286	
	0,00293	
8. 1937 – 2050	0,00347	Mészkö, tömött, szürke
	0,00337	
	0,00342	

Középérték

$$= \frac{180\,000}{\frac{14\,000}{0,00400} + \frac{21\,500}{0,00358} + \dots + \frac{11\,300}{0,00342}}$$

ebben az esetben:

$$\lambda_k = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{h_{i+1}}{\lambda_{i+1}} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}} \quad G_k = \frac{G_1 h_1 + G_2 h_2 + \dots + G_n h_n}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

ahol $G_1, G_2 \dots G_n$ a geotermikus gradiens szakaszos értéke a $h_1, \dots h_n$ vastagságú szelvényszakaszokban.

Az állandó geotermikus gradiens értékű szakaszoknál több meghatározást végeztünk a fajlagos hőellenállásra.

Ezeket a meghatározásokat az 5. táblázat tartalmazza. Hasonlóképpen számítottuk ki a hőáram értékét Lengyelország más területeire is.

Kisebb értékeket ($0,8 - 0,98 \cdot 10^{-6}$) kaptunk azokban a fúrásokban, ahol a kristályos alaphegység kis mélységben van (táblás területek), nagyobb értékeket ($1,32 \cdot 10^{-6}$) pedig Lengyelország egyéb területein. Kivételt képez a Tátrában mélyített Z-3 fúrás, amelynél az érték:

$$q = 0,92 \cdot 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec-nak adódott.}$$

A végrehajtott mérések és a méréseredmények elemzése alapján az alábbi következtetés vonható le: a geotermikus gradiens értékei különbözők a kis alaphegység-mélységű területeken (táblás területek), ill. az egyéb lengyelországi területeken. Ez az eltérés azzal magyarázható, hogy a kőzetek fajlagos hőellenállása is eltérő a kis alaphegység-mélységű területeken, ill. az egyéb területeken, továbbá, hogy eltérők a földi hőáram értékei.

IRODALOM

1. *Arctowski H.*: Nowe pomiary gradientu geotermicznego w szybach naftowych Borysawia, Krosna, Bitkowa, Kosmos ser. A. 1924.
2. *Arctowski H.*: Nouvelles recherches sur les gradients thermiques dans les puits à pétrole. Inst. de Geophys. de l'Univ. de Lwow, Comm. No 7 Kosmos 1925.
3. *Béljakov M. F.*: O szvjázi geoizotermi sz dokembrijszkim relefom ruszkoj platformü. DAN. SZSZSZR t. 64, No 2, 1949.
4. *Birch F.*: The present state of geothermal investigations Geophysics, vol. XIX, 4.
5. *Brockamp B.*: Zum Bau des tieferen Untergrundes in Nord-Deutschland. Jahrbuch d. Reichsamtes f. Bodenforschung f. das Jahr 1941.
6. *Depowski S.*: Pomiar stopnia geotermicznego w Magnuszewie. Przegląd Geologiczny 9, 1960.
7. *Ljubimova E. A., Ljuszova L. N.*: Opregylenie poverhnosztново teplovoko potoka v Sztarej Moesztve. Izv. AN. SZSZSZR szer. geofiz. No 12, 1960.
8. *Heurich F.*: Über die Temperaturen in dem Bohrloche Peruschowitz v. Zeitschrift f. Bergwesen Bd. 52. 1904.
9. *Michael R., Quitzow W.*: Die Temperaturmessungen im Tiefbohrloch Chuchow in Oberschlesien. Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst. Bd. 31. Teil 2, Berlin 1910.
10. *Plewa S.*: Wyniki badan stopnia i gradientu geotermicznego. Nafta, 9, 1963.
11. *Plewa S.*: Etudes du degré geothermique dans les Karpathes polonaises el' avant-pays. Résumés des Communications Association Géologique Karpatho-Balkanique VI-ème congrès. Varsovie-Cracovie 1963.
12. *Roman L.*: Pomiary temperatury w otworze Magnuszew. Kwartalnik Geologiczny t. 6, 2, 1962.
13. *Rózycki S. Z.*: Uwagi o rozmieszczeniu stopnia geotermicznego w Polsce i krajach sasiednich. Spraw. Tow. Nauk Warsz. Wyd. III, 1947. Warszawa, 1948.
14. *Sztenz E.*: Temperatury wgebne i stopien geotermiczny w Ciechocinku. Acta Geophysica Polonica, T-4, 1954.