

# Az artézi kutak vizének lehülése kifolyáskor

SALÁT PÉTER\*

*Jelen dolgozat az artézi kutak vizlethülésének problémájával foglalkozik. A meglévő elméleti eredmények kritikáját adja. Magyarország artézi kútjaira egy empirikus eljárást dolgoz ki, amely segítségével a látszólagos grádiensből a vízbőség és a fakadási szint ismeretében a valódi geotermikus grádiens kiszámítható.*

*Рассматривается вопрос об охлаждении воды артезианских колодцев и дается критика существующих результатов теоретических исследований. Разработан эмпирический метод, при помощи которого, зная водообильность и уровень истекания воды, можно вычислить естественный геотермический градиент по кажущемуся градиенту.*

*Der Vortrag gibt eine kritische Prüfung der vorhandenen theoretischen Resultate über die Abkühlung der artesischen Brunnen. Es wurde ein empirisches Verfahren für Ungarns artesische Brunnen ausgearbeitet, vermittels dessen in Kenntnis der Ergiebigkeit vom scheinbaren Gradient und des Quellenniveau der wirkliche geothermische Gradient berechenbar wird.*

Magyarországon eddig kb. 200 artézi kútnál mérték meg a következő adatokat: talpmélység, átlagos fakadási szint, vízhozam, talphőmérséklet, kifolyóvíz hőmérséklet, a kifolyócső belső átmérője. Ezekon kívül a felszíni talajhőmérsékletet is ismertnek vehetjük. (A kút környékén levő meteorológiai állomások évi talaj, vagy levegő hőmérséklete.)

Körülbelül 800–1000 artézi kútnál ismeretes a fakadási szint, a kifolyóvíz hőmérséklete és a vízhozam.

Ez az adathalmaz teszi indokolttá, hogy az artézi vizek lehülésének problémájával foglalkozzunk, egyrészt a kifolyóvíz hőmérsékletből a talphőmérsékletre való következtetés céljából, másrészt esetleg a kutat környező kőzetek hővezető képességének meghatározása céljából.

Bevezetéképpen áttekintjük az eddig elért elméleti eredményeket.

I. Az artézi vizek lehülésének és bányaszellőztetési problémák megoldásának számítására Boldizsár Tibor dolgozott ki egy összefüggést [1, 2, 3, 4 stb.].

A Boldizsár-féle lehülési összefüggés (geotermikus grádiens korrekciós képlet) a következő modellen alapszik:

Ha az összenyomhatatlan folyadék  $R$  sugarú hengeres lyukban  $v$  sebességgel mozog, a környező kőzet termikus konstansai:  $\lambda$  (hővezetőképesség),  $a$  (hőmérsékletvezető képesség),  $\rho$  (sűrűség),  $c$  (fajhő); a folyadéké  $\rho_F$ ,  $c_F$  és egységnyi lyukhosszon  $q(z, t)$  hő áramlik a kőzet felé; akkor  $dz$  hosszon a folyadék hőmérséklet esése:

$$dT_F(z, t) = - \frac{q(z, t) dz}{\rho_F c_F v R^2 \pi} \quad (1)$$

Boldizsár szerint a kiáramló hőmennyiséget Jaeger és Clark megoldása alapján a

\* Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék Budapest.



$$q(z, t) = \lambda F(\psi) \tau(z, t) \quad (2)$$

összefüggés adja meg. Itt

$$\tau(z, t) = T_F(z, t) - T_K(z) \quad (3)$$

$T_K(z)$  a nem bolygatott közet eredeti hőmérséklete a  $z$  pontban

$$\Psi = \frac{at}{R^2} \quad (4)$$

$t$  a víz kifolyása óta eltelt idő

$$F(\Psi) = \frac{8}{\pi} \int_0^\infty \frac{e^{-\psi B^2}}{J_0^2(B) + Y_0^2(B)} \cdot \frac{d\beta}{\beta} \quad (5)$$

$$F(\Psi) \approx \frac{\pi}{2} + \frac{2\sqrt{\pi}}{\sqrt{\Psi}} \quad (6)$$

Artézi kutaknál a  $H$  mélyen levő vízadó réteg vízhőmérséklete az ottani közet hőmérsékletével egyenlő. Felfelé irányított koordináta rendszerben:

$$T_K(z) = (H - z) g \quad (7)$$

$$T_F(0, t) = Hg \quad (8)$$

$g$  a hőmérsékleti gradiens és a felszíni hőmérsékletét 0-nak kötöttük meg.

Ezek figyelembevételével az (1) egyenlet megoldása:

$$T_F(z, t) = (H - z)g + \frac{\rho_F c_F v R^2 \pi g}{\lambda F(\Psi)} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\lambda F(\Psi) z}{\rho_F c_F v R^2 \pi}\right) \right] \quad (9)$$

Ennek más alakja a gradiensre vonatkozó összefüggés:

$$g = \frac{\lambda F(\Psi) T_F(H, t)}{\rho_F c_F v R^2 \pi \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\lambda F(\Psi) H}{\rho_F c_F v R^2 \pi}\right) \right]} \quad (10)$$

Véleményünk szerint a (9) és (10) összefüggések nem jók. Ugyanis kételkedünk az adott formájú  $q(z, t)$  érték helyességében [2].

Carslaw és Jaeger [5] a hővezetés differenciálegyenletét

$$\frac{\partial T(z, r, t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T(z, r, t) \quad (11)$$

hengerkoordinátákban a következő kezdeti és kerületi feltételekkel adják meg végtelen henger esetére:

$$t = 0\text{-kor } r > R\text{-nél } T = T_K \text{ és } r \leq R\text{-nél } T = T_F \quad (12)$$

$$t > 0\text{-kor } r = \infty\text{-nél } T = T_K \text{ és } r \leq R\text{-nél } T = T_F \quad (13)$$

azaz a henger falának hőmérséklete az időben állandó; a végtelen sugarú henger külső falán is állandó a hőmérséklet; a hőáramlás radiális. Ebben az esetben valóban a (2) összefüggés határozza meg a hőáramot:



$$q = \lambda F(\psi) (T_F - T_K) \quad (14)$$

A Boldizsár által felvett modellnél nem ez a helyzet. A henger fala, a folyadék maga az idő folyamán változtatja a hőmérsékletét és a hőáramlás nem radiális, hanem feltétlenül van  $z$  irányú komponense is.

Nem fogadható el azon állítás, hogy a kiáramló hőmennyiség egy adott időtartam mellett ( $\psi = \text{konst.}$ ) csak az érintetlen kőzet és a fal hőmérsékletének különbségétől  $\tau(z, t)$ -től függ, vagyis a fal hőmérséklete változhat, de a hőáramlásra jellemző arányossági tényező (amit a szerző indokolatlanul  $F(\psi)$ -vel azonosít) állandó marad. Ennek helytelensége a következő példán közvetlenül is belátható (Alkalmazzuk [1, 2, 3] eredményeit egy gondolat kísérletben):

Legyen a kőzet hőmérséklete a lyuktól nagy távolságban  $T_K = 0^\circ\text{C}$ ; a folyadéké hosszabb időn keresztül  $T_F = 80^\circ\text{C}$ ; azaz  $T_F - T_K = 80^\circ\text{C}$ . Egy időpontban változtassuk meg az áramló víz hőmérsékletét, legyen  $T_F = 40^\circ\text{C}$ . Ekkor – Boldizsár állítása, azaz a (2) és (3) képletek szerint – fele annyi hő áramlik a vízből a kőzet felé, mint előbb. ( $F(\psi)$  csak keveset változik, ha a  $t$  idő elég hosszú volt.)

A valóságban ez nyilvánvalóan nem igaz, sőt az áramló hő előjelet vált és egy ideig a felmelegedett fal felől fog a vízbe áramlani!

A fal hőmérsékletének megváltozása a (11) hővezetési differenciálegyenlet határfeltételeinek (12, 13) megváltoztatását jelenti. Márpedig nem szabad a már egyszer megoldott differenciálegyenlet határfeltételeit utólag megváltoztatni az eredeti megoldás helyességének fenntartása mellett!

Összefoglalóan: az (1) egyenlet megoldása a (2) összefüggés segítségével helytelen, mert a (2), (14) egész más határfeltételek esetén érvényes, mint amelyek a közölt modellnél fennállnak.

A fentiek alapján indokolatlannak tartjuk a (8) és (9) összefüggések használatát artézi vizek lehűlésének, geotermikus gradiens korrekciónak és bányalevegő felmelegedésének számítására.

II. Az artézi kutak hőmérséklet eloszlásával elméletileg először M. Kozłowski foglalkozott [6].

A feltörő melegvíz stacioner állapotának beállítására szerinte a következő formula érvényes:

$$T_F(z) = (H - z)g + \frac{q_F c_F v R^2 \pi g}{2hR\pi} [1 - \exp(-\eta z)] \quad (15)$$

Itt  $\eta$  a folyadék és a kőzet adataiból bonyolultan felépített állandó.

A szerző a kiáramló hőmennyiséget:

$$q(z, t) = 2 \pi R h [T_F(z, t) - T_K(z)] \quad (16)$$

alakúnak tekinti. (Newton-féle lehűlési törvény.)

Ez az összefüggés nem alkalmas a geotermikus gradiens korrekció elvégzésére. Egyrészt azért, mert időben konstans  $h$  arányossági tényezőt használ. Ez pedig még az olyan egyszerű modellnél sem igaz, mint a fentebb említett végtelen közegbe fúrt állandó falhőmérsékletű lyuk esete, ahol is

$$q = \lambda F(\psi) (T_F - T_K) \quad (14)$$

alakú volt, azaz a hőátadás az időben erősen változott. Másrészt nem alkalmazható, mert a  $h$  hőátadási tényező értékére nincs semmi támpontunk, így a gyakorlati ellenőrzésre sincs lehetőségünk.



III. Magunk is készítettünk egy modellt:

A hőszállítást 3 tartományban kell vizsgálni:

1. a fúrólukban,
2. a környező kőzetben,
3. a Föld felszíne feletti levegőben.

A probléma hengerszimmetrikus, azért hengerkoordinátákat használunk ( $z, r$ ).

1. A fúrólukban a hőszállítás egyenlete (5) alapján

$$\rho_F c_F \frac{\partial T_F(z, t)}{\partial t} = \lambda_F \frac{\partial^2 T_F(z, t)}{\partial z^2} - v \rho_F c_F \frac{\partial T_F(z, t)}{\partial z} - \frac{2R\pi\lambda}{R^2\pi} \left( \frac{\partial T_K(z, r, t)}{\partial r} \right)_{r=R} \quad (17)$$

2. A környező kőzetben a hőszállítás vezetéssel történik:

$$\frac{\partial T_K(z, r, t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \Delta T_K(z, r, t) \quad (18)$$

3. A meteorológiai adatok alapján [7] a felszín feletti levegőréteg a kőzetekhez viszonyítva jó közelítéssel fémes vezetőnek, a földfelszín pedig ekvipotenciális (azonos hőmérsékletű) felületnek vehető a lyuk közvetlen környezetétől eltekintve:

$$T_K(H, r, t) = 0 \quad (r \gg R) \quad (19)$$

A fúróluk falán a közet hőmérséklet egyenlő a víz hőmérséklettel:

$$T_F(z, t) = T_K(z, R, t) \quad (20)$$

A fúróluktól távol geotermikus hőmérséklet áll be:

$$T_K(z, \infty, t) = (H - z)g \quad (21)$$

A víz hőmérséklete a fakadás szintjén megegyezik a környező kőzet hőmérsékletével és idővel nem változik:

$$T_K(0, R, t) = T_F(0, t) = Hg \quad (22)$$

A folyadék a fakadási hely környékén igen keveset hűl:

$$\frac{\partial T_F(0, t)}{\partial z} = 0 \quad (23)$$

A fenti (17–23) egyenletek jelentik a feladat elvi megfogalmazását. Analitikai megoldást eddig nem sikerült találni.

Stacioner esetre kiszámítottunk egy közelítő megoldást. E közelítésnél a felszín hőmérsékletét egész a lyukig ( $r=R$ ) 0-nak kötöttük meg, bár ez a valóságban nem teljesül. A nyert összefüggést a később elvégzett gyakorlati számítások – talán emiatt – nem igazolták.

IV. Így a helyes elméleti eredmények hiányában a kifolyó víz hőmérséklet és a talphőmérséklet kapcsolatát – hazánk artézi kútjainál – empirikusan közelítettük meg. A Bélyi Lajos által rendelkezésünkre bocsátott mérési eredmények [8] közül 139 db kút adatát dolgoztuk fel.



A számítás során felhasználjuk az ún. korrekciós tényezőt ( $C$ ), amely a valódi geotermikus gradiens ( $g$ ) és a kifolyóvíz hőmérsékletéből számított látszólagos gradiens ( $g^*$ ) hányadosa.

$$C = g/g^* \quad (24)$$

$$g^* = \frac{T_F(H) - T_K(H)}{H} \quad (25)$$

A következő feltevéseket tesszük:

1. Már beállt a stacioner állapot
2. A víz lehülése a mélység függvényében exponenciális:

$$T_F(z) - T_K(z) = \alpha(1 - e^{-\varepsilon z}) \quad (26)$$

A (7), (23) és 25 (alapján)

$$g = \alpha \varepsilon \quad (27)$$

Az exponenciális megközelítés indokai a következők:

- a) Az elméleti munkák sugalmazzák (I., II.).
- b) Ezt alkalmazva módunk van az elméleti eredmények ellenőrzésére.
- c) Bár kereshetnénk egyszerűbben is empirikus összefüggést, pl.  $C$  és a kút egyéb adatai (vízbőség, fakadási szint) között, mégis inkább az  $\varepsilon$  mennyiséget használjuk a lehülés jellemzésére. Véleményünk szerint ez jobban illik a probléma természetéhez, mert magába foglalja azt a tényt, hogy a kút vize a fakadás környékén kevesebbet hűl, mint a kút felsőbb szakaszain.

Az  $\varepsilon$  tényező kiszámítása a (24), (25), (26) és (27) felhasználásával kapott

$$C = \frac{\varepsilon H}{1 - e^{-\varepsilon H}} \quad (28)$$

összefüggés alapján lehetséges.

A (28) egyenletet  $\varepsilon H$ -ra numerikusan megoldottuk a szóbajöhető  $C$  értékeknél. Az összetartozó értékpárokat az 1. táblázatban közöljük.

1. táblázat

$C$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35
$\varepsilon H$	0,00	0,101	0,196	0,286	0,376	0,466	0,551	0,633
$C$	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,70	1,80	1,90
$\varepsilon H$	0,713	0,793	0,873	0,951	1,026	1,176	1,317	1,457

A számolás eredményét a 2. táblázat  $\varepsilon$  rovata tartalmazza. Ebben a táblázatban a kutak mérési adatait ( $V = vR^2\pi$  a kifolyóvíz mennyisége) és a fentiek szerint számított lehülésre jellemző  $\varepsilon$  és  $\varepsilon V$  értékeket tüntettük fel.



A kút helye	$\frac{1}{g}$ m/C°	C	H m	$\epsilon H$	$\frac{\epsilon}{1/km}$	V	$\frac{\epsilon V}{e/perc\ km}$
Szombathely .....	20,7	1,08	630	0,158	0,251	630	158
Sárvár .....	21,6	1,18	950	0,340	0,358	750	268
Győr .....	18,6	1,56	320	0,966	3,01	200	602
Győr .....	23,2	1,21	1602	0,394	0,244	720	175
Csákvár .....	16,2	1,22	275	0,412	1,50	310	463
Pápa .....	32,4	1,11	814	0,214	0,264	2400	635
Győrszemere .....	20,5	1,66	410	0,116	0,283	150	425
Balatonőszöd .....	15,1	1,10	230	0,196	0,850	65	55
Sikonda .....	10,5	1,55	365	0,951	2,60	60	156
Sikonda .....	10,8	1,15	300	0,286	0,953	1000	953
Igar .....	10,8	1,28	255	0,517	2,03	145	295
Major .....	9,6	1,53	155	0,921	5,95	120	715
Kaposvár .....	17,3	1,14	750	0,268	0,358	400	143
Kaposvár .....	17,5	1,19	290	0,358	1,23	365	438
Csurgó .....	16,7	1,47	320	0,825	2,58	180	463
Dunaújváros .....	14,7	1,27	590	0,500	0,850	500	424
Homokterenye .....	21,7	1,90	310	0,457	1,48	170	251
Végardó .....	8,7	1,04	300	0,082	0,273	880	240
Lőrinci .....	12,9	1,26	260	0,483	1,86	130	242
Pásztó .....	13,3	1,50	301	0,873	2,90	200	580
Lőrinci .....	12,2	1,23	225	0,430	1,92	240	460
Tápiószentmárton .....	16,0	1,22	310	0,412	1,33	187	248
Kiskőrös .....	19,0	1,29	1030	0,534	0,517	120	64
Abony .....	17,1	1,16	600	0,304	0,506	400	203
Cegléd .....	20,0	1,07	1130	0,139	0,123	800	98
Cegléd .....	17,9	1,21	445	0,394	0,888	250	220
Jászberény .....	18,7	1,11	730	0,214	0,294	600	176
Jászapáti .....	16,7	1,07	700	0,139	0,199	1200	238
Pély .....	20,4	1,21	720	0,394	0,547	56	31
Pély .....	17,4	1,39	580	0,697	1,20	70	84
Jászszenandrás .....	15,0	1,17	570	0,322	0,565	600	340
Szolnok .....	17,1	1,11	860	0,214	0,249	1800	400
Szolnok .....	16,3	1,20	400	0,376	0,940	500	470
Keves .....	16,9	1,09	670	0,177	0,264	750	198
Keves .....	18,3	1,17	375	0,322	0,860	380	326
Alattyán .....	15,4	1,25	465	0,466	1,00	75	75
Besenyőszög .....	18,0	1,22	595	0,412	0,694	80	56
Besenyőtelek .....	14,7	1,57	370	0,981	2,66	60	160
Besenyőtelek .....	20,0	1,52	215	0,905	4,21	130	548
Besenyőtelek .....	20,8	1,68	280	1,146	4,10	150	615
Kisköre .....	17,4	1,31	365	0,568	1,47	145	228
Boconád .....	17,1	1,17	360	0,322	0,896	200	180
Eger .....	21,4	1,21	350	0,394	1,13	120	135
Gyöngyös .....	16,5	1,03	340	0,063	0,185	350	645
Gyöngyös .....	13,5	1,16	345	0,304	0,895	1100	985



A kút helye	1/g m/C°	C	H m	εH	ε 1/km	V	εV e/perc k
Jánoshida	16,4	1,16	525	0,304	0,580	330	191
Jászberény	16,7	1,31	306	0,568	1,85	280	518
Kőröstetlén	16,3	1,09	230	0,177	0,770	400	308
Tiszanána	16,3	1,47	335	0,825	2,54	50	127
Tiszanána	21,6	1,22	290	0,412	1,42	150	214
Tamabod	16,1	1,14	295	0,268	0,900	400	360
Tard	19,5	1,47	315	0,825	2,62	250	655
Újlőrincfalva	19,7	1,11	370	0,214	0,580	600	448
Jásztelek	13,0	1,43	280	0,761	2,63	160	421
Jászkisér	16,4	1,19	500	0,358	0,716	90	50
Atány	19,6	1,21	428	0,394	0,920	80	74
Ek	17,3	1,04	290	0,082	0,283	186	53
Tófalva	18,7	1,27	285	0,500	1,76	84	148
Tarnaszentmiklós	17,2	1,91	395	1,470	3,72	30	112
Kőröstetlén	15,2	1,12	230	0,232	1,11	300	303
Újszász	16,4	1,22	250	0,412	1,65	100	165
Tószeg	17,6	1,28	440	0,517	1,17	75	88
Zagyvarékás	17,1	1,41	420	0,729	1,73	35	61
Kiskunhalas	18,5	1,22	840	0,412	0,490	700	342
Kecel	17,2	1,27	700	0,500	0,715	240	172
Mélykút	21,2	1,12	590	0,232	0,393	550	216
Csongrád	23,8	1,15	965	0,286	0,296	1200	353
Szeged	21,7	1,09	462	0,177	0,384	1360	522
Szeged	12,3	1,71	165	1,191	7,24	130	940
Budapest	20,7	1,27	500	0,500	1,00	390	390
Csepel	23,2	1,41	1120	0,729	0,650	420	273
Újszeged	21,7	1,08	600	0,158	0,264	1500	395
Újszeged	21,2	1,18	490	0,340	0,695	1200	835
Újszeged	20,7	1,14	440	0,268	0,610	1330	810
Rákóczi-falva	14,9	1,19	590	0,358	0,607	220	134
Szentes	23,6	1,04	1650	0,082	0,050	1600	80
Vajhát	22,4	1,28	705	0,517	0,735	1050	770
Tiszaöldvár	15,7	1,03	970	0,063	0,065	3000	195
Szentes	19,8	1,40	250	0,713	2,87	144	417
Szentes	20,2	1,62	353	1,056	3,00	140	420
Martfű	16,3	1,04	255	0,082	0,322	180	58
Szentes	20,7	1,32	345	0,585	1,70	450	766
Berettyóújfalu	15,2	1,58	740	0,996	1,35	160	216
Berettyóújfalu	16,1	1,15	425	0,286	0,675	1200	810
Csökmő	22,5	1,14	360	0,268	0,745	160	119
Csökmő	20,5	1,07	394	0,139	0,352	170	60
Furta	14,7	1,16	342	0,304	0,890	230	204
Füzesgyarmat	16,9	1,14	500	0,268	0,536	180	97
Berettyóújfalu	17,6	1,21	430	0,394	0,920	200	184
Berettyóújfalu	14,6	1,17	310	0,322	1,04	800	830
Biharnagybajom	15,0	1,14	276	0,268	0,975	450	438
Füzesgyarmat	15,4	1,24	325	0,448	1,38	350	483
Mezőpetend	18,4	1,14	294	0,268	0,910	960	875
Váncrod	18,9	1,09	290	0,177	0,610	800	487

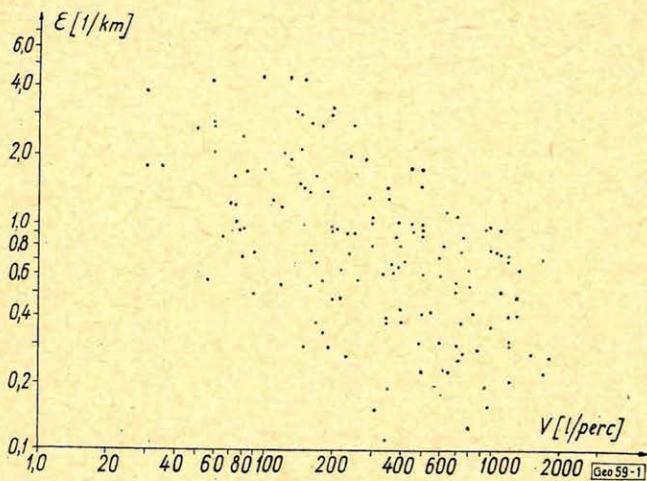


A kút helye	$\frac{1}{g}$ m/C°	C	H m	$\epsilon H$	$\frac{\epsilon}{1/km}$	V	$\frac{\epsilon V}{e/perc\ km}$
Hencida .....	17,1	1,22	520	0,412	0,790	300	237
Berekböszörmény	18,9	1,33	302	0,601	2,00	60	120
Békás .....	18,3	1,18	735	0,340	0,464	220	102
Dévaványa .....	16,5	1,23	1100	0,430	0,390	840	327
Kőrösladány .....	19,3	1,12	400	0,232	0,580	375	217
Kertészsziget ....	18,0	1,43	335	0,761	2,28	80	182
Kőröstarcsa .....	18,2	1,17	488	0,322	0,660	170	112
Sarkadkeresztúr ..	18,9	1,25	520	0,466	0,900	500	450
Szeghalom .....	17,7	1,24	375	0,448	1,23	290	356
Hódmezővásárhely	25,0	1,25	1020	0,466	0,458	1300	596
Szarvas .....	19,0	1,13	720	0,250	0,348	1000	348
Szarvas .....	19,4	1,02	610	0,043	0,070	820	57
Békésszentandrás .	16,8	1,04	540	0,082	0,452	970	147
Kondoros .....	21,2	1,18	700	0,340	0,485	90	44
Szarvas .....	17,7	1,20	405	0,376	0,912	200	182
Kondoros .....	19,6	1,07	480	0,139	0,290	480	139
Hódmezővásárhely	23,2	1,22	380	0,412	1,08	642	694
Hódmezővásárhely	20,7	1,35	375	0,633	1,68	500	840
Mezőtúr .....	15,8	1,61	600	1,041	1,74	30	52
Mezőtúr .....	17,8	1,22	488	0,412	0,850	760	645
Pusztabánréve ...	17,9	1,25	470	0,466	0,998	300	300
Sárgahegyes .....	19,0	1,27	410	0,500	1,22	110	134
Murony .....	15,9	1,19	450	0,358	0,80	78	60
Mezőtúr .....	17,0	1,28	1400	0,517	0,370	350	130
Endrőd .....	18,8	1,10	300	0,196	0,654	360	236
Kőrösi á. g. ....	20,4	1,11	420	0,214	0,511	800	408
Hódmezővásárhely	23,2	1,06	550	0,120	0,218	1700	373
Mezőkék .....	15,1	1,14	355	0,268	0,758	1000	758
Makó .....	21,8	1,21	820	0,394	0,480	1100	528
Makó .....	20,8	1,13	470	0,250	0,532	700	372
Gyula .....	19,8	1,35	1600	0,633	0,395	500	188
Gyula .....	20,7	1,25	860	0,466	0,543	260	141
Békéscsaba .....	20,2	1,08	1400	0,158	0,113	340	38
Alecsisziget .....	16,9	1,25	295	0,466	1,58	75	117
Tiszafüred .....	18,5	1,11	760	0,214	0,282	700	197
Karcag .....	18,8	1,04	1250	0,082	0,066	1250	82
Kunhegyes .....	18,1	1,09	930	0,177	0,190	940	178
Kuncsorba .....	18,4	1,21	290	0,394	1,41	500	705
Debrecen .....	14,7	1,18	900	0,340	0,378	1200	452
Macs .....	16,4	1,04	340	0,082	0,241	500	120
Nyíregyháza .....	16,6	1,08	725	0,158	0,218	650	142
Nyíregyháza .....	16,1	1,14	520	0,268	0,516	165	85
Mátészalka .....	17,7	1,14	950	0,268	0,282	1200	338
Fehérgyarmat ....	19,4	1,16	850	0,304	0,358	350	125



A lehülés a következő paramétereiktől függ: a vízhozam, a fakadási mélység, a környező kőzetek hővezetőképessége, a geotermikus gradiens, a csőszakatok és esetleg más tényezőktől is. Mivel ilyen sok tényezőtől függhet a lehülés, igen bonyolult lenne a precíz korreláció számítás elvégzése, de ez az adatok nagy szórása miatt nem is szükséges. Ezért a gyakorlati céloknak megfelelően grafikus úton, ill. numerikusan egyszerű átlagolással határoztuk meg az  $\varepsilon$  és a lehülést legerősebben befolyásoló két tényező: a vízbőség ( $V$ ) és a kútmélység ( $H$ ) kapcsolatát.

Ha az  $\varepsilon$ -t a vízbőség ( $V$ ) függvényében ábrázoljuk, várhatóan monoton rendeződő adatsort kellene kapnunk. Ez csak közelítőleg van így, amint azt az 1. ábra mutatja, amelyen a  $\log \varepsilon$ -t a  $\log V$  függvényében tüntettük fel. A pontok nagy területen való eloszlása azt mutatja, hogy a lehülést  $V$ -n kívül más tényezők is befolyásolják.



1. ábra

Az adatsort közelítsük  $45^\circ$ -os egyenessel. Ez azt jelenti, hogy az  $\varepsilon V$  szorzat állandó. Az átlagolásból  $\overline{\varepsilon V} = 317$  l/perc km.

Ennél jobb közelítésnek látszik az a feltevés, hogy az  $\varepsilon V$  szorzat a fakadási mélységnek is függvénye. Várható, hogy a kismélységű kutak a felszín közelsége miatt viszonylag erősebben hűlnek, mint a mélyebbek. Ha az 1. ábrán látható adathalmazt a fakadási mélység 3 intervallumába rendezzük, akkor a 3. táblázatban levő értékeket kapjuk.

3. táblázat

Kútmélység m	db	$\overline{\varepsilon H}$	$\overline{H}$ (m)	$\overline{\varepsilon}$ (1/km)	$\overline{V}$ (l/perc)	$\overline{\varepsilon V}$ (l/perc km)
150 - 400 .....	62	0,552	308	1,710	318	394
400 - 700 .....	42	0,347	506	0,702	501	262
700 - 1600 .....	35	0,342	960	0,342	797	245
150 - 1600 .....	139	0,410	533	1,06	495	317

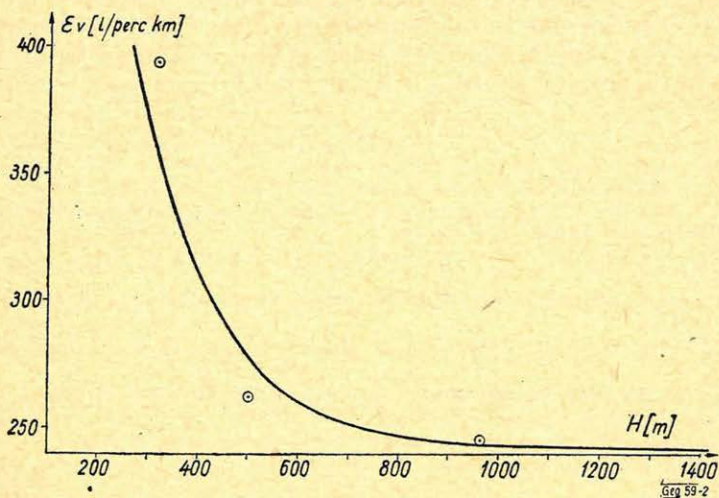


A 3. táblázat  $\varepsilon V$  eredményeit a  $H$  függvényében a 2. ábrára vittük fel. A pontokat grafikusan kiegyenlítve megkaptuk az  $\varepsilon V$  szorzat mélységfüggését.

A kapott empirikus összefüggés módot ad a valódi geotermikus gradiens meghatározására a látszólagos gradiens, a kútmélység és a vízhozam ismeretében. Ez a következőképpen történik:

A 2. ábrából  $H$ -hoz kiolvassuk  $\varepsilon V$ -t. Ebből  $V$  segítségével  $\varepsilon$  meghatározható. A (28) összefüggésbe helyettesítve adódik  $C$  és ebből a (24) szerint

$$g = Cg^* \quad (29)$$



2. ábra

V. A 3. táblázat adatai felhasználhatók a Boldizsár-féle (9) és (10) képletek ellenőrzésére is. A (9) és (26) összehasonlításából:

$$\varepsilon = \frac{\lambda F(\Psi)}{\rho_F c_F v R^2 \pi} = \frac{\lambda F(\Psi)}{V \rho_F c_F} \quad (30)$$

A (30) átrendezéséből:

$$\lambda = \frac{\varepsilon V \rho_F c_F}{F(\Psi)} \quad (31)$$

$$V = \frac{\lambda F(\Psi)}{\varepsilon \rho_F c_F} \quad (32)$$

Esetünkben  $F(\psi) \approx \frac{\pi}{2} \approx 1,6$

Az átlagértékeket és  $F(\psi)$  közelítő értékét a (31)-be helyettesítve, adódik, hogy

$$\lambda = 317 \frac{\text{l}}{\text{perc/km}} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g C}^\circ} \cdot 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} / 1,6 \approx 3,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cal}}{\text{C}^\circ \text{ cm sec}}$$



azaz az Alföld közeteinek átlagos hővezetőképességére a valódinál kb. egy nagyságrenddel nagyobb érték adódik. Ugyanígy az átlagos kifolyóvíz mennyiségre a valóságosnál egy nagyságrenddel kisebb érték kapható.

Tehát az elméleti megfontolások mellett hazánk artézi kútjaira vonatkozó gyakorlati számítások is bizonyítják a Boldizsár-féle összefüggések helytelen-ségét.

Empirikus összefüggésünket a 2. táblázat 139 kútjára alkalmaztuk ellen-  
őrzésként. A kutak 32%-ánál 5%-on belül volt a mért geotermikus gradiens  
és a számított gradiens eltérése. 10%-on belül volt az eltérés a kutak 65%-ánál.  
Elfogadhatatlan eredményt (50%-nál nagyobb hibát) adott a kutak 6%-a.

Ebből az ellenőrzésből az is kiderült, hogy a víz lehűlésének empirikus szá-  
mítása csak bővízü kutak esetén ( $V > 500$  l/perc vízbőségű kutak 80%-ánál)  
adott kis relatív hibájú (5–10%-os) geotermikus gradienst.

#### IRODALOM

1. *Boldizsár T.*: Akadémiai doktori értekezés 1955.
2. *Boldizsár T.*: A földkéreg hőmérsékleti mezejének hatása mély bányák levegőjének felmelege-  
désére. Bányászati Lapok 1956. 9–10.
3. *Boldizsár T.*: Temperature drop of inkompressible fluids rising in boreholes. Acta Technica  
XIX. 3–4. 1958.
4. *Boldizsár T.*: Geotermikus vizsgálatok a szén-, olaj- és vízbányászatban. Bányászati Kézikönyv  
III. k. 1962.
5. *Carlaw, H. S. and Jaeger, J. C.*: Conduction of heat in solids. Oxford at the Clarendon Press,  
1959.
6. *Kozłowski, M.*: Temperature distribution in a liquid flowing out through a boring. Acta  
Geophysica Polonica III. No. 2. 1955.
7. *Byers, H. R.*: General meteorology. Mc Graw Hill Book Company 1959.
8. *Béltéki L.*: Magyarországi artézi kutak adatai (személyes közlés). Nyomás alatt.