

Kísérletek a hőmérsékletméréssel történő cementpalást-magasság kimutatásának optimális idejére

M Á R H O F F E R J Ó Z S E F

A dolgozat részletesen vizsgálja a termikus szelvényezésnek a cementpalást elhelyezkedésére való alkalmazását. Megállapítja a mérések elvégzésének optimális feltételeit.

В работе подробно рассматривается вопрос о возможности применения термического каротажа для определения высоты подъема цементного кольца. Обсуждаются оптимальные условия проведения измерений.

Durchführlich erläutert der Verfasser die Anwendbarkeit der Thermischen Bohrlochmessungen im Gebiet der Bestimmung der Zementhüllenhöhe. Es werden die optimalen Messbedingungen bestimmt.

1960-ig az Alföldi Kőolajfúrási Üzemnél a cementpalást magasságának kimutatására egyetlen módszerként a cementhőmérsékletmérést alkalmaztuk. Ez a módszer azon alapszik, hogy a cement kötésének folyamatát meghatározott mennyiségű hőfelszabadulás kíséri. A kialakult gyakorlat alapján méréseinket a cementezés után általában 18–24 órával végeztük. Az idevonatkozó szakirodalom is ezt a mérési időintervallumot jelöli meg optimálisnak. Gazdasági szempontból ez minimum két műszak-berendezés munkaidő kiesést jelentett. Kifogások merültek fel ez idő alatt felvett cementhőmérséklet mérések minősége ellen is. Egyes területeken, különösen magas hőmérsékletű mélyfúrásokban (pl. Furta-Zsáka, Kaba), ismételt mérések ellenére sem sikerült a cementpalást jelenlétére vonatkozóan megbízható adatokat szerezni.

1960-ban, egyrészt a fúróberendezések állásidejének csökkentése, másrészt pedig a cementpalást mérések eredményesebbé tétele céljából bevezettük a radioaktív izotópos cementezést. Ennél a módszernél a cementkeverés kezdetén nyomjelzőként vízben jól oldódó radioaktív izotópot adagoltunk a cementhez. A módszer előnyei a következők:

1. ha az adagolt radioaktív izotóp felezési idejét megfelelő nagynak választjuk, akkor gyakorlatilag a cement elhelyezése után a cement jelenlétét bármely időpontban mérni és regisztrálni lehet,

2. elvileg a cementpalást jól kimutatható magashőmérsékletű, nagymélységű fúrólyukban is,

3. a másodlagos cementezéseknél használt kis mennyiségű cementek is jól meghatározhatók.

1961. évben a radioaktív izotópok alkalmazásával igen szép eredményeket értünk el. Az év folyamán az összes cementezések kb. kétharmad részét végeztük radioaktív izotóppal. Ennek eredményeképpen a cementezések utáni várakozási időt az átlag 18 órától 5 órára átlagra csökkentettük. Lényegesen javult a cementpalástok pontos kimutatásának eredményessége is. A radioaktív izotópok alkalmazása a mélyfúrásoknál az említett előnyök mellett igen sok műszaki problémát is okozott. A legfontosabb ezek közül a radioaktív műszerhez tartalékalkatrészek beszerzési problémája. Ismeretes, hogy

ezeket a speciális műszereket a Szovjetunióból szerezzük be. Az 1960. év elején el voltunk látva különböző típusú és méretű 80 C°–100 C°-on üzembiztosan dolgozó radioaktív lyukműszerekkel. A megfelelő műszer és pótalkatrész utánpótlást azonban ezideig sem sikerült megszervezni. A jelenlegi rossz műszerparkunk következménye az, hogy az 1962. évben a cementezéseknek már csak kb. egyhatod részét végeztük izotópos módszerrel. Igen gyakran az izotóppal szennyezett cementpalástokat is hőmérsékletméréssel határoztuk meg a radioaktív lyukműszerek üzemképtelen volta miatt. Egyes esetekben pl. felszínhez közel elhelyezett cementpalástok cementezésénél, biztonsági okokból, nem alkalmazhatók radioaktív izotópok. Más esetekben hőmérsékletméréssel gazdaságosabban ugyanaz az eredmény elérhető, mint izotóp alkalmazásával. Ezenkívül meg kell még jegyezni, hogy amíg az izotópos cementmérési módszer csak a cement jelenlétéről ad felvilágosítást, addig a hőmérsékletméréssel végzett módszer a cement kötését regisztrálja, tehát bizonyos mértékig a cementpalást minőségére is választ ad.

A felsoroltakból látható, hogy célszerű a cementhőmérséklet mérések elvégzésével behatóbban foglalkozni.

1962. év kezdetére világosan állt előttünk az a feladat, hogy egyrészt a cementhőmérséklet méréseknél lehetőségek szerint csökkentjük a cementezéstől a mérés megkezdéséig terjedő várakozási időt, másrészt határozzuk meg területenként azt a mélységet (maximális hőmérséklet), amelynél a cementpalást még egyértelműen kimutatható hőmérséklet méréssel. Ezek figyelembevételével oldottuk meg 1962-ben a megnövekedett számú cementhőmérséklet méréseket. A különböző területeken – a sajátos körülmények figyelembevételével – fokozatosan a 18 órás várakozási időt 15, majd 12 órára, néhány esetben ennél is kisebbre csökkentettük.

Ilyen módon egyes területeken szép eredményeket értünk el. Megállapítottuk, hogy Hajdúszoboszló közvetlen környékén a 400–800 m között elhelyezkedő cementpalást-tető a cementezés után 7–9 órára jól kimutatható. A demjéni területen pedig 6–8 órára végzett mérések is teljesen megbízható eredményt adnak.

A jó mérési eredmények mellett számos bizonytalan és eredménytelen mérést is végeztünk. Ezek azt igazolják, hogy a cementhőmérséklet mérést sok olyan tényező befolyásolja, melyeket kiküszöbölni, illetve figyelembe venni ilyen körülmények között lehetetlen. A probléma megoldására szükségszerű a cementkötés mechanizmusának vizsgálata.

Erre kétféle lehetőség kínálkozott:

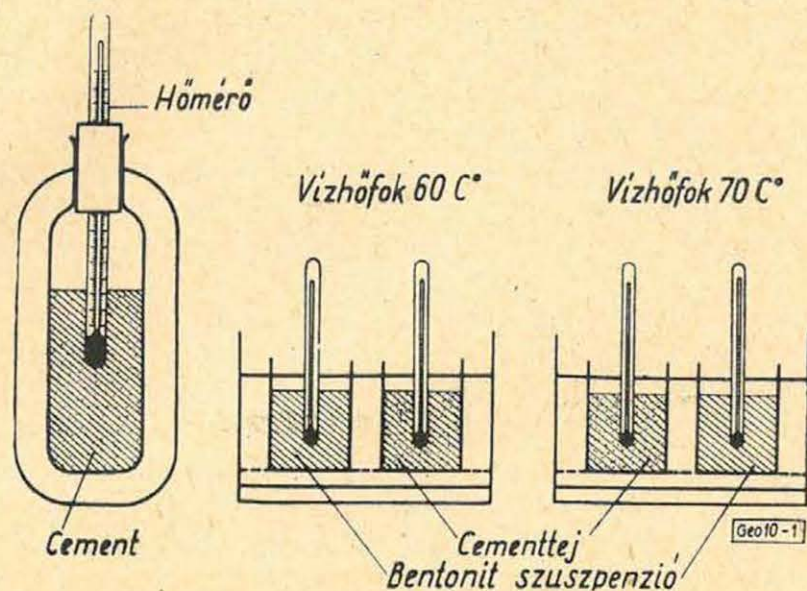
- a) a jelenség matematikai leírása és megoldása,
- b) a laboratóriumi modellezés.

A jelenség matematikai leírása és megoldása igen bonyolult. Tételezzük fel, hogy a cement bekeverése pillanatától kezdődően időben változó mennyiségű hőt bocsát ki. Ez a cement a béléscsőön keresztül növekvő hőmérsékleti viszonyok között jut le a talpra, ott megfordul, majd a béléscső és a lyukfal közötti gyűrűs térben csökkenő hőmérsékleti viszonyok között jön fel a kívánt magasságra. Mi a gyorsabb eredmény elérése érdekében hozzá láttunk a laboratóriumi modellezéshez.

A jelenség laboratóriumi modellezéséhez szerény eszközök álltak rendelkezésünkre.

Két kísérletsorozatot hajtottunk végre.

Az első sorozatnál feltételeztük, hogy a különböző rétegek, továbbá a fűrőiszap és a cementtej igen rossz hővezetők. Ennek igazolására számítást végeztünk (1). A számítással megállapítottuk, hogy a $8\frac{1}{2}$ " fűrőlyukban a 20 C° hőmérsékletű iszap, 70 C° réteghőmérsékletnél – azaz környezetnél – 35 óra múlva melegszik fel 60 C° -ra és csak 55 óra múlva 65 C° -ra.



1. ábra

Kiindulásunk első lépéseként feltételeztük, hogy a cementtej a környezettől teljesen el van szigetelve, azaz a környezettől nem vesz fel és a környezetnek nem is ad le hőt.

Első kísérleti eszközünk egy Dewar-féle edény volt, melyben 400 g tatabányai 600-as portland cement és 200 g víz keverékét tettük. Ennek közepére egy $0-100\text{ C}^\circ$ mérési határral rendelkező, $0,1$ fok beosztású hőmérőt helyeztünk (1. ábra). A cementtej és a környezet hőmérséklete a bekeverés pillanatában 25 C° , a leolvasás időköze 5 perc, pontossága pedig $0,1\text{ C}^\circ$ volt. A kapott eredmény grafikus ábrázolása a 2. ábrán látható.

Az így kapott adatok értelmezése nehézkes. A görbe legjellemzőbb pontja, a maximum, csak annyit mond, hogy 14 óra 30 perc elteltkor a Dewar-edény annyi hőt adott le, mint amennyi hidratációs hőt a cement termelt. Célszerű az adatok segítségével az időegység alatt kiváló hőmennyiséget kiszámítani és az idő függvényében ábrázolni.

$$Q = (t_1 - t_2)C \cdot m; \quad (1)$$

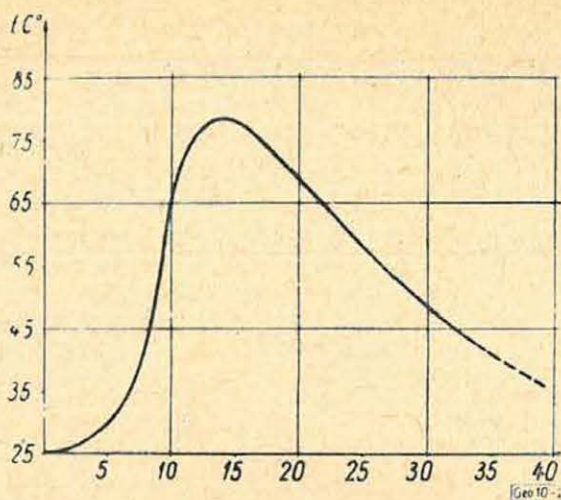
ahol Q az időegység alatt kiváló hőmennyiség (az időegységet $\frac{1}{4}$ órának választottuk; $\tau = \frac{1}{4}$ óra);

C a 400 g cement + 200 g víz keverékének fajhője, melyet a következőképpen számítottunk ki: C_v a víz fajhője = 1 Kkal/kg C° ; C_c a cement fajhője = $0,28\text{ Kkal/kg C}^\circ$;

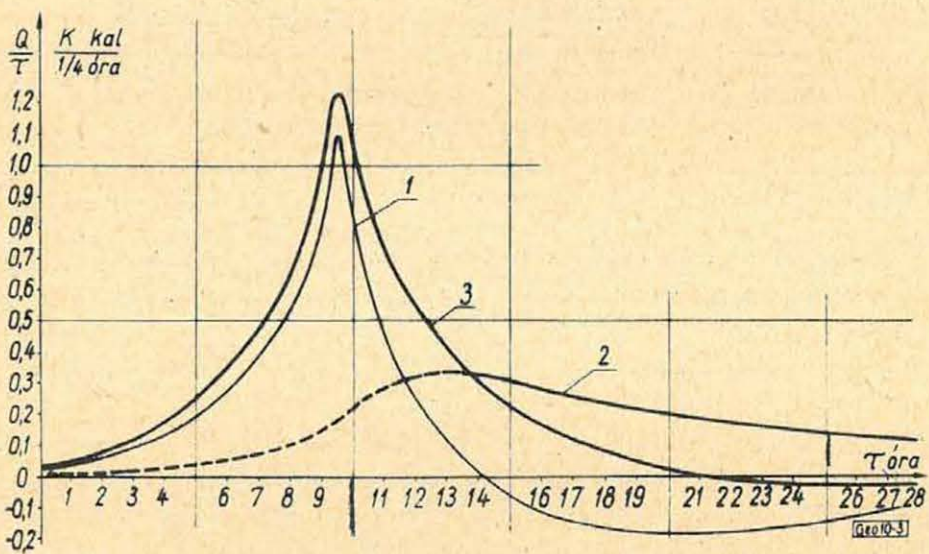
$$C = \frac{2C_c + C_v}{3} = 0,52\text{ Kkal/kg C}^\circ$$

m a cement + vízkeverék tömege = $0,6\text{ kg}$;

$$mC = 0,312\text{ Kkal/C}^\circ$$



2. ábra. Kötésben levő cement hőmérsékletváltozása a Dewar-féle edényben



3. ábra. A kötésben levő cement időegység alatt kiváló hő mennyisége
 1. Dewar-edényben időegység alatt kiváló hőmennyiség görbéje
 2. Dewar-edény hőleadásának ellenkező előjelű görbéje
 3. Időegység alatt kiváló korrigált hőmennyiség görbéje

$(t_1 - t_2)$ a cement + vízkeverék $\frac{1}{4}$ óra alatt keletkezett hőmérséklet különbsége.

Az így kapott $Q = f(\tau)$ függvény (3. ábra, 1. görbe) jellemző pontja már világosan mutatja, hogy adott körülmények között a maximális hőkiválás 9 óra 30 percekor van.

Mivel a Dewar-edény nem tökéletes hőszigetelő, bizonyos hőelvezetéssel rendelkezik (ez a 2. ábrán is látható). A hőleadás torzítja az időegység alatt kiváló hőmennyiség görbéjét. Ezt a torzítást fejezi ki a 3. ábra görbéjének negatív előjelű része.

Azért, hogy korrigálni tudjuk a Dewar-edény hőelvezetéséből származó torzulást, a következő mérést kellett elvégezni: A Dewar-edényben a cement maximális hőmérsékletének és fajhőjének megfelelően $78,5^\circ\text{C}$ hőmérsékletű és 312 g tömegű vizet helyeztünk el (ahol $mC = 0,312 \text{ Kkal } (^\circ\text{C})$).

Az előbbi eljárással analóg módon, 25 C° hőmérsékletű környezetnél 5 percenkénti leolvással meghatároztuk a Dewar-edényben a víz hőmérséklet változását.

A folyamat a környezet és a rendszer hőmérséklet-különbségétől függ. Az időegység alatt leadott, ellenkező előjelű hőmennyiség az idő függvényében ábrázolva a 3. ábrán látható (2. görbe jobboldali ága). Hasonló módon számítjuk ki és szerkesztjük meg a korrekciós görbe baloldali ágát is (szaggatott vonal).

A két görbe összegezéséből (1. és 2. görbék) megkapjuk a cement időegység alatti hőkiválási görbét (3. görbe). Az eredő görbének természetesen nem lenne szabad már hőleadást ábrázolni. A kapott hőleadás a korrigálás pontatlanságából származik. Azt ábrázolja, hogy milyen hiba terheli az eredő görbét.

A kapott görbe egy harang-görbe, melyből megállapítható, hogy a cement hőtermelése az adott körülmények között 21 óráig tart és, hogy a harang-görbe szimmetriatengelye 9 óra 30 perckor metszi az időtengelyt, vagyis ekkor mutatkozik a maximális hőkiválás.

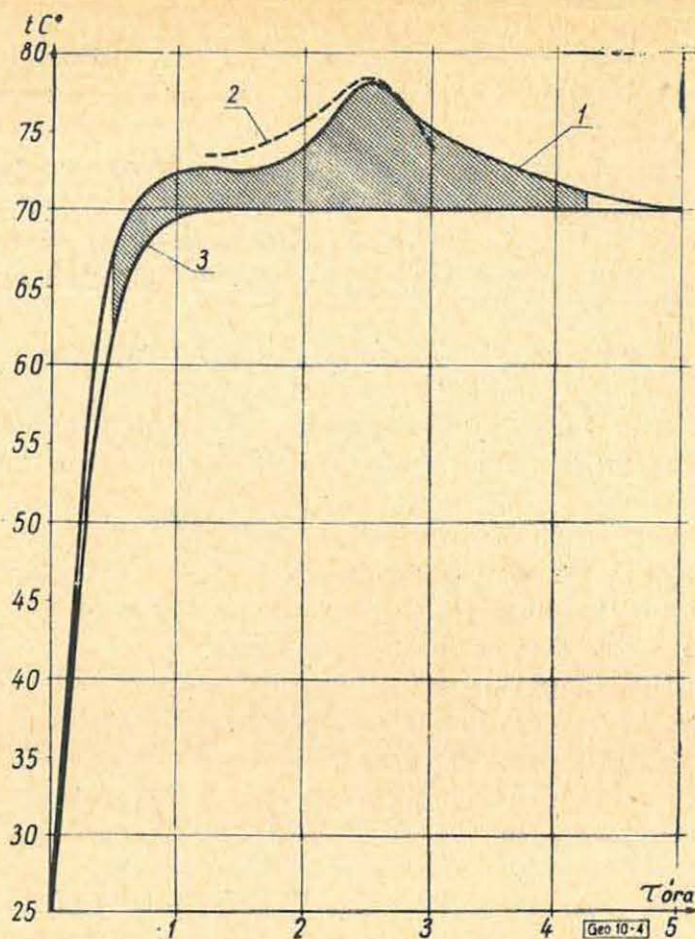
Arra az esetre tehát, melyre feltételezzük, hogy a cement a környezetétől teljesen el van szigetelve, célszerű a hőmérséklet-mérést a cementezéstől számított 9 óra 30 perc eltelte után végezni, figyelembe véve azt, hogy a hőmérséklet-mérés bélésűben levő fúróiszapban történik, amelyet a kivált hőmennyiségnek még fel kell melegítenie. A kísérletet megismételtük 60 C°-on induló cementtej hőmérséklettel is (1. táblázat). Ebben az esetben a cement hőkiválása 10 óráig tartott, a maximális hőkiválás pedig 5 óránál mutatkozott. A kísérletből látszik, hogy a cementtej induló hőmérséklete lényegesen befolyásolja a hőmennyiség kiválásának időbeli folyamatát. Gyakorlati viszonyok között azonban a cementtej induló hőmérséklete sohasem haladja meg a 25 C°-ot, ezért részünkre az első kísérlet eredményei az irányadók.

1. táblázat

A kötésben levő cementhőmérséklet változása Dewar-féle edényben

(400 g cement + 200 g víz; cementtej induló hőmérséklete 60 C°; környezet hőmérséklete 25 C°)

Nº	τ óra, perc	t C°	Nº	τ óra, perc	t C°	Nº	τ óra, perc	t C°
1	0	60,0	19	4,30	80,2	37	9,0	99,0
2	0,15	59,4	20	4,45	82,7	38	9,15	98,8
3	0,30	58,8	21	5,0	84,9	39	9,30	98,6
4	0,45	58,4	22	5,15	87,1	40	9,45	99,2
5	1,0	58,2	23	5,30	89,1	41	10,0	97,8
6	1,15	58,0	24	5,45	91,0	42	10,15	97,4
7	1,30	57,8	25	6,0	92,8	43	10,30	96,9
8	1,45	57,6	26	6,15	94,4	44	10,45	96,4
9	2,0	57,5	27	6,30	95,4	45	11,0	95,9
10	2,15	57,6	28	6,45	96,3	46	11,15	95,4
11	2,30	58,0	29	7,0	97,0	47	11,30	94,9
12	2,45	58,6	30	7,15	97,5	48	11,45	94,3
13	3,0	59,9	31	7,30	97,9	49	12,0	93,7
14	3,15	61,7	32	7,45	98,2	50	12,15	93,1
15	3,30	64,0	33	8,0	98,5	51	12,30	92,5
16	3,45	67,6	34	8,15	98,7	52	12,45	91,9
17	4,0	73,0	35	8,30	98,9	53	13,0	91,3
18	4,15	77,0	36	8,45	99,0			



4. ábra. A kötésben levő cement hőmérsékletváltozása 70 C° termosztátban

1. A cement hőmérsékletváltozás görbéje
2. Ismétlés megváltoztatott geometriai rendszerrel
3. Bentonit-szuszpenzió felmelegedési görbéje

A második kísérlet sorozatnál a kísérlet eszközéül termosztát, 2 db 90 mm átmérőjű alumínium edény és 2 db hőmérő szolgált.

Itt minden irányú térbeli hővezetést tételeztünk fel. Az egyik edénybe 400 g cement + 200 g víz keverékét, a másik edénybe pedig 400 g bentonit + 200 g víz keverékét helyeztük el és mindkét edényt 70 C°-ra hevített automatikusan szabályozott vízfürdőbe tettük.

A bentonit és vízszuszpenzió keverési arányát kísérletekkel határoztuk meg. A megválasztott bentonitkeverék hővezetőképessége azonos geometriai viszonyok mellett megfelel a cement hővezető-képességének (2. táblázat).

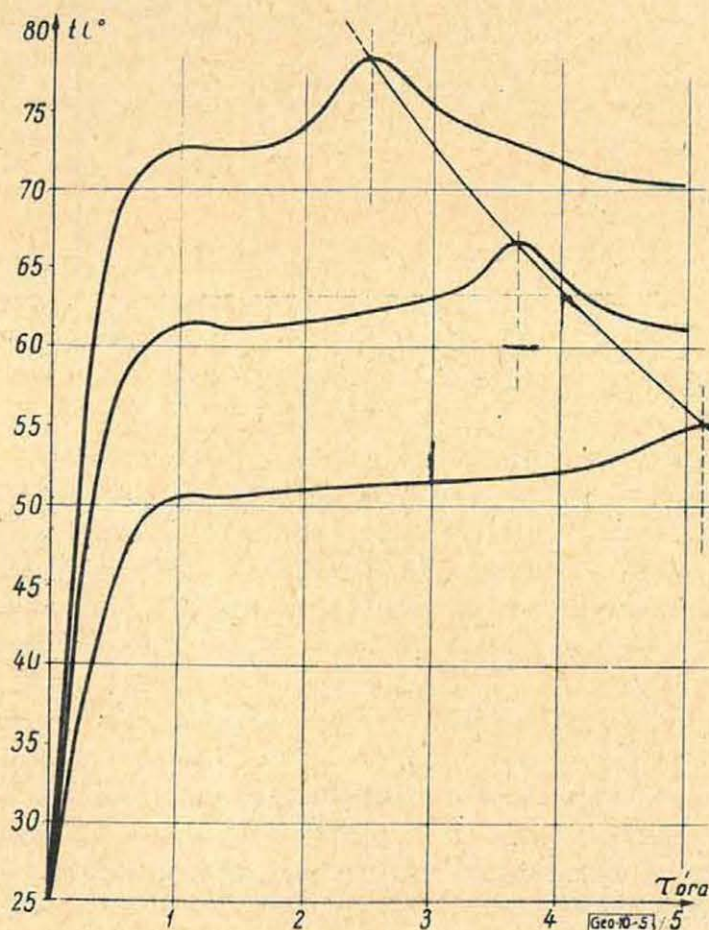
2. táblázat

A cement és a bentonit + víz azonos hővezető képességének igazolása hűtéssel

№	τ óra, perc	t C°	
		cement	bentonit
1	0	60,4	60,5
2	0,05	57,0	57,0
3	0,10	53,6	53,7
4	0,15	51,0	51,1
5	0,20	48,3	48,4
6	0,25	46,4	46,5

A cement + víz és a bentonit + víz keverékébe helyezett hőmérők leolvasása 5 perces időközökben történt, $0,1\text{ C}^\circ$ pontossággal. A kapott eredmény a 4. ábrán látható. Az ábrából megállapítható, hogy a cement hőtermelése már az első negyedóra után megkezdődik és félóra múlva eléri a környezet hőmérsékletét. Ugyanakkor a bentonit hőmérséklete csak másfél óra múlva áll be a termosztát hőmérsékletére. Másfél óránál a cementgörbén egy lokális kis minimum észlelhető. Ez valószínűleg a cement kötésekor végbemenő kémiai reakcióval kapcsolatos jelenség. A maximális hőmérsékletet 2 óra 30 perckor éri el és 5 óra 30 perckor áll be ismét a termosztát hőmérsékletére. A hőkiválás tehát mindössze 5 óráig tart. A maximális hőmérséklet különbség $8,3\text{ C}^\circ$. A kísérletet a körülmények jelentéktelen változtatásával megismételve, a görbe maximum-pontját a hőmérséklet tengelye $0,1\text{ C}^\circ$ -nyi, az időtengelyen pedig 5 pernyi pontossággal ugyanazon a helyen kaptuk (4. ábra, 2. görbe).

Vizsgáljuk meg, hogy a környezet hőmérséklet változásának hatására miképpen változik a kötésben levő cementhőmérséklet. Az előbbiekkal analóg módon, a kísérletet megismételtük 50 C° , majd 60 C° -ra automatikusan szabályzott vízfürdőben. A kapott eredmény az 5. ábrán látható, melyből megállapítható, hogy a környezet hőmérséklet-csökkenésének hatására a cementhőmérsékleti anomáliák csökkennek és az időtengely irányában megnyúlnak, vagyis lényegesen nő a hőkiválás ideje. A görbe maximumai jobbra eltolódnak.

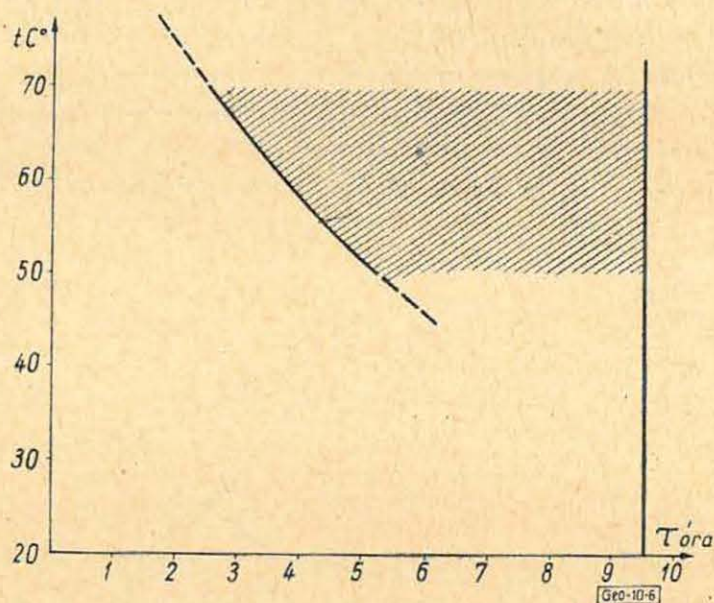


5. ábra. A kötésben levő cement hőmérsékletváltozása a termosztát különböző hőmérsékleteinél ($70, 60$ és 50 C°)

A kapott eredmények alapján – minden irányú hőelvezetést feltételezve – a hőmérséklet-szelvényezést különböző réteghőmérsékletek mellett célszerű a megadott eredményvonal (5. ábra) által jelzett időpont után végezni.

Szükséges még említést tenni arról is, hogy a kísérleti eredményeket lényegesen befolyásolja a rendszer geometriája. Ennek igazolására kísérleteket végeztünk 90 mm, 70 mm és 45 mm átmérőjű edényekben. Mivel a fúrásoknál a 45 mm-hez közeli cementvastagságok dominálnak, ezért a továbbiakban 90 mm-es edényt használtunk a kísérlet lefolytatására.

Az első kísérletsorozatnál – mint már említettük – a hőelvezetést 0-nak, a második kísérletsorozatnál pedig minden irányúnak tételeztük fel. Mivel a fúrólyukak cementezésénél keletkező hőkiválást sugárirányú hőelvezetés befolyásolja – hiányzik a „Z” irányú hőelvezetés –, ezért a két kísérlet eredménye a tényleges helyzet két szélső határértékének felel meg. Ezek szerint megállapíthatók azok az optimális mérési időintervallumok, melyek a minimális várakozási idő felhasználásával valószínűség szerint a legjobb eredményt adják (6. ábra).



6. ábra. A mérés optimális időintervallumának meghatározása

A kapott adatok alkalmazhatóságát a gyakorlatban csak részben ellenőriztük, további terepi mérési eredmények szükségesek az értékek igazolására.

Ilyen módon az első kérdésre, hogy mennyi az optimális várakozási idő a cementezés után a mérés megkezdéséig, választ adtunk. A második kérdéssel, hogy mekkora az a mélység (maximális hőmérséklet), amelynél a cementhőmérséklet-mérés még megbízható eredményt ad, a kísérleteinkben nem foglalkoztunk.

Meg kívánjuk azonban említeni, hogy a 80 C° – 90 C° feletti réteghőmérsékletek esetében szükségesnek tartjuk a rádióaktív izotópos cementezések alkalmazását (amennyiben ezt a radioaktív lyukműszerek hőtűrése lehetővé teszi), mert a környezet hőmérsékletének növekedésével csökken a cementkötési hő kiválásának időtartama, ami bizonytalanná teszi a cementhőmérséklet-mérés eredményességét.

IRODALOM

[1] Komarov: Szpravočnyik Geofizika II. Moszkva, 1961. 329 old.