

Vizsgálatok a mélyfúrési geofizikai mélységmeghatározás köréből

SZILÁGYI ENDRE

A mélyfúrési geofizika egyik alapvető feladata a réteghatárok mélységének megállapítása és a mélységileg pontos réteg megnyitása. A mélységmeghatározás általában a kábelre felvitt mélységjelek segítségével történik. A tanulmány vizsgálja a kábelre ható tényezőket és befolyásukat a mélységmeghatározás pontosságára, valamint a kábelmérésnél fellépő hibákat és korrekcióba vételük lehetőségét.

Одной из основных задач геофизики глубокого бурения является определение глубины залегания границ пластов и точное по глубине вскрытие пласта. Определение глубины обычно производится при помощи глубинных знаков поднятого кабеля. Работа исследует факторы, влияющие на кабель и их влияние на точность определения глубины, а также ошибки, возникающие при измерении кабеля и возможности их коррекции.

Eine grundlegende Aufgabe der Bohrlochgeophysik ist die Bestimmung der Teufe der Schichtgrenzen und die genaue Teufeneinstellung der Schießgeräte. Die Teufenbestimmung geschieht meist mit Hilfe Teufenmarken, mit denen das Kabel versehen ist. Der Autor untersucht die das Kabel beeinflussenden Faktoren, und ihre Wirkung auf die Genauigkeit der Teufenbestimmung. Die Fehlern der Kabelmessung und die Möglichkeit ihrer Korrektur werden ebenfalls behandelt.

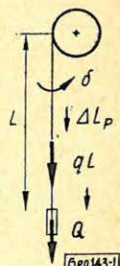
A mélyfúrési geofizika fontos feladata a réteghatárok mélységének megállapítása és a rétegmegnyitás mélységileg pontos elvégzése. Utóbbinál a feladat 2000–2500 m mélységben 1–2 méteres intervallumok perforálása is lehet. A nagymélységű fúrások megvizsgálásánál pedig hasonló intervallumok 3–4000 m mélységben történő megnyitását kell elvégezni.

A mélyfúrési geofizikai mélységmeghatározás a legtöbb esetben kábelre felvitt jelek alapján történik mind a szelvényezéskor, mind a perforáláskor. A jelenlegi és főleg a jövőben várható követelmények szükségessé teszik ennek a módszernek a vizsgálatát.

1. A kábel hosszváltozásai:

1.1 Deformáció szabadon függő súly és önsúly hatására.

Az L hosszúságú, függőleges kábel alsó végére szabadon függesztjük fel a Q nehezéket. A kábel felső vége be van fogva. Ezzel az esettel modellezhető a karottázs-kábel üzem közben (1. ábra).



1. ábra

Az önsúly és a nehezék súlyának hatására a kábel megnyúlást és szögelfordulást szenved. A ΔL_p megnyúlás a mechanikából ismert képlet alapján számítható:

$$\Delta L_p = A \int_0^L P dL \quad (1)$$

Ezzel a megnyúlás és a szögelfordulás [1] szerint

$$\Delta L_p = A_1 L \left(Q + \frac{qL}{2} \right) \quad (2)$$

$$\delta = A_2 L \left(Q + \frac{qL}{2} \right) \quad (3)$$

ahol

q az egységnyi hosszú kábel súlya,

A_1 és A_2 állandók, melyek a kábel merevségi együtthatóinak függvényei.

A_1 felírható még a következőképpen is [2]

$$A_1 = b_p + b_\delta \quad (4)$$

ahol

b_p a rugalmas megnyúlás állandója,

b_δ a kábel kicsavarodásával kapcsolatos megnyúlás állandója.

A KTO4 típusú kábelre jellemző állandók

$$b_p = 0,0025 \text{ mm/kpm}$$

$$b_\delta = 0,0051 \text{ mm/kpm}$$

1.2. Hosszváltozás hőmérsékletváltozás hatására. Ha a 20°C átlaghőmérsékletű kábel hosszát választjuk alaphossznak, a \bar{T} átlaghőmérséklet hatására megváltozott kábelhossz,

$$\frac{L}{\bar{T}} = L_{20} [1 + \alpha'(\bar{T} - 20)]$$

ahol α' a kábel hőtágulási együtthatója.

A \bar{T} átlaghőmérséklet definíciója: az a hőmérséklet, amely mint a T_0 hőmérsékleten l_0 hosszúságú kábelszelet minden elemi térfogatára érvényes hőmérséklet, a kábelszeletnek a pillanatnyi hőfokeloszlással előidézett l megnyúlással azonos megnyúlást okozza. [3]

\bar{T} az idő (t) függvénye. Ha a kábel környezetének hőmérsékletét $t=0$ -kor T_0 -ról \bar{T}_i -re emeljük, az átlaghőmérséklet t szerinti változását az alábbi differenciálegyenlet írja le, melynek helyességét kísérletekkel igazolták [3].

$$\frac{d\bar{T}}{dt} = -k[\bar{T}(t) - T_i] \quad (5)$$

Az átlaghőmérséklet pedig, ha az $t=0$ -kor a T_0 környezet - hőmérséklettel megegyezett,

$$\bar{T} = (T_i - T_0)(1 - e^{-kt}) \quad (6)$$

ahol

k az átlaghőmérséklet időbeli változására jellemző állandó.

Különböző kábelek α' és k értékeit tartalmazza az 1. táblázat:

1. táblázat

Kábel típus	20-60 C° 10 ⁻⁶	20-120 C° 10 ⁻⁶	20-180 C° 10 ⁻⁶	k $\frac{1}{\text{min}}$
Lyoni 4 eres neoprén	10,55	10,60	10,55	0,66
Lyoni 7 eres neoprén	7,50	8,50	9,55	0,52
Magyar 7 eres szőtt	6,75	7,90	8,50	0,52
KTO-4	-	-	11,51	-

Páncélburkolatú kábelek hőtágulását a páncélzat szabja meg, ezért a \bar{T} környezet hőmérsékletével fog megegyezni. Hőtágulási együtthatójukat laboratóriumi mérésekkel nem sikerült meghatározni. A vizsgálatok arra engedtek következtetni, hogy az ilyen kábelek hőmérsékletnövekedés hatására kismértékű hosszcsökkenést szenvednek. További vizsgálatokig feltételezzük, hogy hőtágulási együtthatójuk, $\alpha' = 0$.

2. Nyugvó kábel a függőleges fűrőlyukban.

A folyadékkal (iszappal) feltöltött fűrőlyukban elhelyezkedő nyugvó kábel hosszát mechanikai erőhatások és hőmérsékleti hatások befolyásolják. Az erőhatások következtében [3] szerint szögelfordulás is fellép.

2.1. Hosszváltozás mechanikai erők hatására.

A ható erők és nyomatékok (2. ábra):

húzóerők: P_k a kábel súlya ($P_k = qL$)
 Q nehezék súly

nyomóerők: P_f a kábelre és nehezékre ható felhajtó erő
 P_i az iszap és a kábel súrlódása mint fellépő erő

nyomatékok: M_{cs} a kábel kicsavarodásakor fellépő nyomaték
 M_i a kicsavarodást az iszap jelenléte miatt gátló nyomaték

Az erőket (1)-be írva és az integrálást elvégezve a megnyúlás, ha az $L' = L$ feltételt megengedjük:

$$\Delta L_p = A_1 L \left[Q + \frac{qL}{2} - \left(V_n + \frac{L}{2} V_e \right) \gamma_i - P_i \right] = A_1 L \Sigma P_{ny} \quad (7)$$

ahol

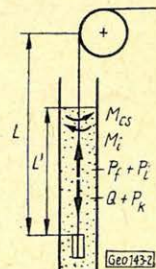
V_n a nehezék térfogata

V_e az egységnyi hosszú kábel térfogata

γ_i az iszap fajsúlya

A ΣP_{ny} érték terhelésmérővel állapítható meg.

2.2. Hosszváltozás hőmérséklet hatására.



2. ábra

Ha a fúrólukban levő, 0°C hőmérsékleten dl_0 hosszúságú elemi kábel-darabra l mélységben $T_k + cl$ hőmérséklet hat (3. ábra), a kábel hőmérséklet változás hatására megváltozott hossza

$$L_T = \int_0^{L_0} [1 + \alpha'(T_k + cl)] dl_0$$

ahol

T_k az iszaposzlop tetején mért hőmérséklet

c a geometrikus gradiens $\frac{(\text{C}^\circ)}{\text{m}}$

Ha megengedjük, hogy $l = l_0$

$$L_T = L_0 + \alpha' T_k L_0 + \frac{\alpha' c}{2} L_0^2 \quad (8)$$

Az L_0 a kábel T_m hőmérsékleten mért L_{T_m} hosszából számítható ki. Ezt (8)-ban helyettesítve

$$L_T = \frac{L_{T_m}}{1 + \alpha' T_m} \left(1 + \alpha' T_k + \frac{\alpha' c}{2} \frac{L_{T_m}}{1 + \alpha' T_m} \right) \quad (9)$$

A (9) alkalmazhatóságát műanyag burkolatú kábelekre külön meg kell vizsgálni.

3. Mozgó kábel a függőleges fúrólukban.

3.1. Hosszváltozás mechanikai erők hatására.

Az iszappal töltött fúrólukban V sebességgel lefelé mozgó kábelre a 2. ábra bemutatott irányú erők hatnak. A lefelé mozgáskor fellépő P_f súrlódási erő nagysága azonban P_i -től eltérő, a többi erő nagysága $L' \approx L$ lyukban levő kábelhossz esetén a nyugalmi helyzetben fellépő erőkkel egyezik.

Az összes ható erő

$$P_{ml} = Q + P_k - P_j - P_f \quad (10a)$$

A V sebességgel felfelé mozgó kábelre ható erők a 4. ábrán láthatók. P_j iránya ellentétes a lefelé engedéskor fellépő súrlódási erő irányával, de nagysága azzal egyező. Az összes hosszváltoztató erő

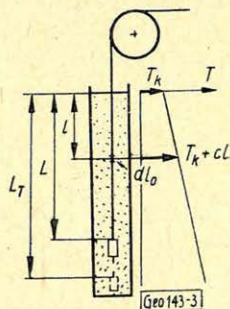
$$P_{mf} = Q + P_k + P_j - P_f \quad (10b)$$

(10a) és (10b) nagysága a lyukban levő $L' \approx L$ kábelhossz függvénye

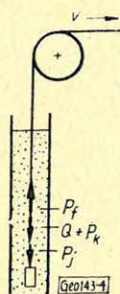
$$\Sigma P_{ml} = f_1(L) \quad \Sigma P_{mf} = f_2(L)$$

Ezeket az összefüggéseket szelvényezés közben felvett kábelterhelés diagramok szolgáltatják. Az L_i mélységben keletkező hosszváltozást megkaphatjuk az ehhez a mélységhez tartozó ΣP_{mli} (vagy ΣP_{mfi}) ismeretében

$$\Delta L_{ip} = A_1 L_i \Sigma P_{mfi} \quad (11)$$

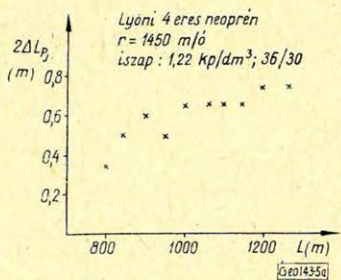


3. ábra

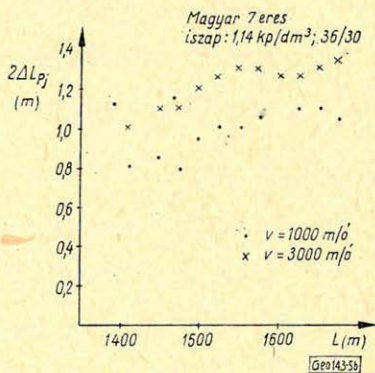


4. ábra

Kábelterhelés diagram hiányában P_J nagyságát vagy a [2] által javasolt képlettel becsüljük meg, vagy kísérleti mérésekből állapíthatjuk meg a P_J hatására bekövetkező ΔL_{P_J} hosszváltozást. Ennek meghatározására (10a) és (10b) alapján van lehetőség, az ugyanolyan sebességű leengedéskor és felhúzáskor felvett szelvények réteghatár különbségei $2 \Delta L_{P_J}$ értékét adják. Ilyen mérések eredményeit mutatja az 5a és b ábra.



5a. ábra



5b. ábra

Az 5 b ábrából látható, hogy P_J a vontatási sebesség függvénye. *Lyoni* 4 eres neoprén kábel ΔL_{P_J} értékei a vontatási sebesség függvényében a 6. ábrán láthatók, a feltüntetett iszaptulajdonságok esetén, a $138 \frac{\text{m}}{\text{ó}}$ sebességű szelvényre, mint alapra vonatkoztatva. A kísérleti mérés alapján ΔL_{P_J} a vontatási sebességtől a következőképpen függ.

$$\Delta L_{P_J} = a v^b \quad (12)$$

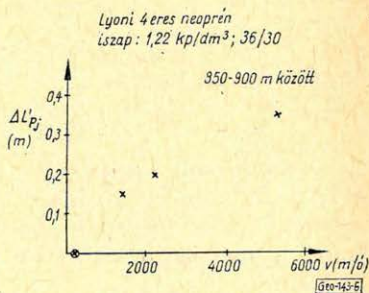
3.2. Hosszváltozás hőmérséklet hatására.

Hőtágulási együtthatóval rendelkező pánccélkábel felszíntől mért L_i hosszúságú szakaszának hőokozta megnyúlása (9)-cel számítható.

Műanyagburkolatú kábelekre (9) alkalmazhatóságát külön meg kell vizsgálni, mert az ilyen kábelek (5) és (6) szerint késéssel veszik fel a környezet hőmérsékletét. Az (5) differenciálegyenlet megoldását két esetre írjuk fel:

a) A felszínen levő kábel átvette a környezet T_m hőmérsékletét és $T = 0$ előtt nyugalomban volt, majd V sebességgel leengedték a fúrólukba. Az $L_i = Vt$ mélységbe jutó kábelszelet környezetének hőmérséklete

$$T_i(t) = T_m + cvt \quad (1)$$



6. ábra

ahol

t a leengedés kezdetétől eltelt idő,

$l(t)$ az egységugrás függvénye.

Feltételezzük azt, hogy $T_m = T_k$

A megoldás, a kábel átlaghőmérsékletének változása

$$\bar{T}(t) = T_m + cVt - \frac{cV}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (13)$$

b) Ha a lyukba leengedett kábel a felfelé húzás megkezdésének pillanata ($t = 0$) előtt nyugalomba volt és felvette a környezet hőmérsékletét, majd V sebességgel felfelé húzzák

$$T_i(t) = T_m + cL - cVt l(t)$$

amit (5)-be helyettesítve, a megoldás

$$\bar{T}(t) = T_m + cVt + \frac{cV}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (14)$$

Az eredményekből látható, hogy $t \approx 5/k$ után az indítás hatásától eltekinthetünk, s ekkor a lyukban levő kábelhossztól függetlenül a kábel átlaghőmérséklete cV/k C° állandó értékkel kisebb a lebecsátás, illetve nagyobb a felhúzás közben $T_i(t)$ -nél. A $\frac{cV}{k}$ értékeit a szokványos szelvényezési sebességeknél

kiszámítva beláthatjuk, hogy a korrekciós tag elhanyagolható, különösen, ha figyelembe vesszük a hőmérséklet megállapítás pontosságát.

Tehát (9) a műanyagburkolatú kábelekre is alkalmazható, s mivel a korrekciós tag értéke nem függ a mélységtől, minél mélyebb a fúrólyuk, annál kisebb a (9) használata miatt fellépő hiba.

4. A mélységmeghatározás egyes kérdései.

4.1. A kábelmérés pontossága.

A kábelmérés a 25 vagy 50 m-es távolságok rámérése a kábelre és a végpontok rögzítése. A távolságmérés acél mérőszalaggal történik.

A mérőszalag használata esetén a következő „szabályos” hibák lépnek fel:

a) A szalagnak a névlegestől eltérő hosszából származó hiba. Az alkalmazott 50 m-es mérőszalag gyártómű által megengedett hosszeltérése 10 kp feszítőerő alkalmazásánál $T_{m0} = 20$ C° hőmérsékleten $\pm 2,5$ mm.

b) A hőmérsékletváltozás által okozott eltérés. A gyártómű szerint a hőtágulási együttható

$$\alpha'' = 11,5 \cdot 10^6 \text{ (C}^\circ\text{)}^{-1}$$

c) A feszítőerő névlegestől való eltéréséből származó hiba.

$$\Delta L_{mp} = \frac{L(P-10)}{fE}$$

ahol

P a feszítőerő, f a mérőszalag keresztmetszetének felülete

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kp cm}^{-2}$$

A mérőszalagnak a kábelre helyezésénél, a végpont megállapításánál és rögzítésénél „szabálytalan” hibák lépnek fel. Ezek nagyságának becslésére kábelméréseknél szerzett tapasztalatok szolgálnak. Ezek szerint 2000 m kábel ismételt megmérésénél közel egyező fúróluk-viszonyok mellett, a végpontok eltérése $1-3 \cdot 10$ cm érték. Jelentős az a tény, hogy *nem mutatható ki ennek a hibának a megmért kábelhossztól való függése.*

4.2. A felszíni hőmérséklet hatása.

A mérőszalag névleges hossza a T_{m0} hőmérsékleten érvényes. A kábelmérést általában ettől eltérő T_m hőmérsékleten végzik.

Ezért (9)-be L_{Tm} helyére a következőt kell írni:

$$L_{Tm} = M_0 [1 + \alpha''(T_m - T_{m0})]$$

ahol

M_0 a mérőszalag névleges hossza a T_{m0} hőmérsékleten.

Tehát

$$L_T = \frac{[M_0(1 + \alpha''(T_m - T_0))]}{1 + \alpha' T_m} \left\{ 1 + \alpha' T_k + \frac{\alpha' c}{2} \frac{M_0 [1 + \alpha''(T_m - T_{m0})]}{1 + \alpha' T_m} \right\} \quad (15)$$

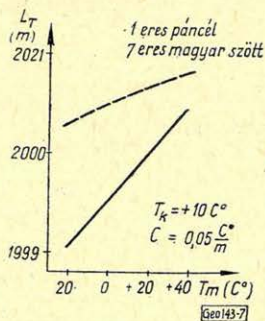
A mérőszalag hűvözta tágulásának figyelmen kívül hagyása hibára vezet, melynek nagysága a kábel és a mérőszalag hőtágulási együtthatóinak függvénye.

A 7. ábrán 2000 m 7 eres magyar szőtt kábel és 2000 m páncélkábel hosszváltozása látható a kábelmérési hőmérséklet függvényében. (Páncélkábelnél $\alpha' = 0$ feltételezéssel éltünk.)

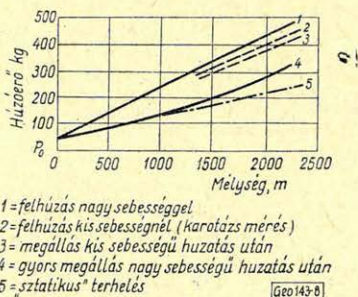
4.3. A fúróluk viszonyok hatása.

A kábelmérést csak fúrólukban, vagy megfelelő feszítőerő alkalmazásával kábelmérő állomáson szabad végezni. *Lyoni* 7 eres neoprén kábelt mértek meg úgy, hogy a kábel a földre volt fektetve és a műszerkocsi csőrőljével meg volt feszítve, majd a mérést megismételték $1,3 \text{ kp/dm}^3$ fajsúlyú iszappal töltött gyakorlatilag függőleges fúrólukba való leengedés közben. A 2000 m-es mélységjelek eltérése 2 m volt.

A kábelmérésnél nem közömbös a kábel mozgatásának iránya. A leengedés és felhúzás közben végzett megállásoknál ugyanis *Komarov* szerint [4] a huzatási sebességtől és a megállás gyorsaságától függő, a statikusnál kisebb, illetve nagyobb erő hat. (8. ábra, Komarov után.)



7. ábra



1 = felhúzás nagy sebességgel
 2 = felhúzás kis sebességnél (karotázs mérés)
 3 = megállás kis sebességű huzatás után
 4 = gyors megállás nagy sebességű huzatás után
 5 = „statikus” terhelés

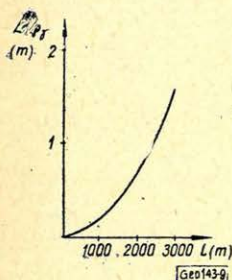
8. ábra

7 eres lyoni neoprén kábelt mértek meg, $1,3 \text{ kp/dm}^3$ fajsúlyú iszappal töltött fúrólukban mindkét irányban, 2000 m megmérése után az eltérés 0,6 m volt a megfelelő jelek között.

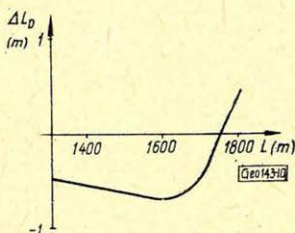
Ha a már megmért kábelt olyan fúrólukban alkalmazzuk, melynél az iszapfajsúly (γ_{i2}) eltér annak az iszapnak a fajsúlyától (γ_{i1}), amellyel megtöltött lukban az előző kábelmérést végezték, a kábel hosszváltozást szenved és a felvett jelek közötti távolság megváltozik. A hosszváltozás, ha a két iszap viszkozitása egyezik:

$$\Delta L_{p\gamma} = A_1 \frac{L^2}{2} V_e (\gamma_{i1} - \gamma_{i2}) \quad (16)$$

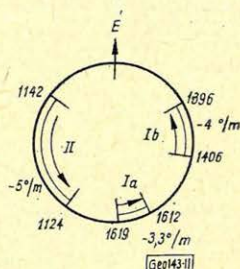
0,1 kp/dm^3 iszapfajsúly különbség KTO 4 kábelre gyakorolt számított hosszváltoztató hatása látható a 9. ábrán. A 4 és 7 eres lyoni és magyar műanyagburkolatú kábeleknél a tapasztalatok szerint ez a hatás kisebb.



9. ábra



10. ábra



11. ábra

5. A kábel megindítása.

A lyukba lebocsátott kábelre felfelé induláskor rövid ideig tartó dinamikus igénybevétel hat, mely [2] alapján becsülhető, nagysága azonban az iszap tulajdonságainak is függvénye.

A dinamikus terhelésre a kábel rugóként viselkedik. A lengés jellemzői a dinamikus igénybevétel nagyságától, a kábel és az iszap tulajdonságaitól függenek. A 10. ábrán a lyoni 7 eres kábel által nyert mélységindikációk láthatók a 4 eres lyoni neoprén kábel indikációihoz viszonyítva. A dinamikus igénybevétel hatására létrejött mélységetlérés talptól kb. 1600 m-ig követhető.

Az ábra egyben annak bizonyítása is, hogy a kábelek mechanikai és hőmérsékleti állandóinak eltérése miatt ugyanazon lyukviszonyok között különböző kábelekkel készült szelvények mélységindikációi különbözők, az eltérés a mélység függvénye.

6. A kábel forgása.

(3) szerint a kábel terhelés hatására szögelfordulást is szenved, mely mozgó kábelnél a terhelés mértékének megfelelően változik. Az induláskor fellépő dinamikus igénybevétel egyik hatása szintén szögelfordulás.

A lyoni 7 eres neoprén kábelekre gyakorolt két hatás együttes tanulmányozását szolgálja a 11. ábra, melyen rétegdőlésmérő szondával $8 \frac{1}{2}''$ át-

mérőjű fúrólukokban végzett mérések ilyen vonatkozású eredményei láthatók: a mérési intervallumok, a szögelfordulás nagysága és iránya, valamint a szögelfordulás gradiense. (Az óramutató járásával egyező irány a pozitív.)

Az I. fúrásban az iszap fajsúlya $1,29 \text{ kp/dm}^3$, viszkozitása 37/30, a II. fúrásban az iszap fajsúlya $1,34 \text{ kp/dm}^3$, 35/30. Az I. fúrás a) intervallumában 1 m-ként álltak meg és végeztek ferdeségmérést. $8 \frac{1}{2}''$ átmérőjű, $1,56 \text{ kp/dm}^3$ fajsúlyú 52/28 viszkozitású iszappal feltöltött fúrólukban 1624,0–1605,0 m között – $8,3^\circ/\text{m}$ volt az elfordulás gradiense. Nagyobb kábelterhelés esetén tehát (3)-mal egyezően, nagyobb a szögelfordulás.

IRODALOM

- [1] *M. F. Gluskó*: Mechaniceszkij raszesem karotazsnüch kabelej c ucsetem popereckojü pogatlivoszti. Izoljascsii. Prikladnaja geofizika. 1964.
- [2] *V. H. Dahnov*: Promüszlovaja geofizika 1959.
- [3] Karottázs kábelvizsgálatok. A Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékének jelentése. 1963.
- [4] *C. G. Komarov*: Technika promüszlovoj geofiziki. 1957.