

Mélyfúrásokban végzett ferdeségmérések kiértékelése

SZILÁGYI ENDRE

A ferdeségmérések kiértékelésének módját a feladat jellege és a mérések pontossága szabja meg.

A mérések pontosságánál vizsgálni kell a mérőműszer pontosságát és azt, hogy a mérési pontok egymástól való távolsága mekkora. Az optimális mérési távolságokat a feladat pontossági követelményei és a görbe változásai együttesen határozzák meg. A távolságnak olyannak kell lennie, hogy a mért ferdeség és azimutszögek megfelelőképpen jellemezzék a térgörbét.

A kiértékelési célokra általában a húrmódszert célszerű alkalmazni. Ezzel nagyobb mérési távolságokkal is érhető el olyan pontosság, mint az érintőmódszerrel kisebb mérési távolságok alkalmazásával. Ha a változások az egyik szögértékben kicsik, a közelítő eljárás alkalmazása is jó eredményekre vezet. Nagy változások esetén, ha a pontossági követelmények nagyok, a részletes eljárással célszerű dolgozni.

Способ интерпретации материалов, получаемых измерениями кривизны скважин определяется характером поставленной задачи и точностью измерений.

При оценке точности измерений необходимо учитывать точность измерительной аппаратуры и расстояние между отдельными пунктами измерений. Оптимальные расстояния определяются требованиями к точности измерений, а также изменениями кривой. Оптимальные расстояния должны подбираться с таким расчетом, чтобы измеряемая кривизна и углы азимута соответствующим образом охарактеризовали пространственную кривую.

Для интерпретации в основном целесообразно применять метод хорды. Этот метод позволяет, даже при больших расстояниях, достигать такой точности, которая достигается методом касательной только при меньших расстояниях. При небольших изменениях одной из угловых величин, применение приближенного метода приводит также к удовлетворительным результатам. В случае наличия значительных изменений, при повышенных требованиях к точности измерения, целесообразным оказывается применение подробного метода.

Das Verfahren der Interpretation von Bohrlochablenkungsmessungen wird durch den Charakter der Aufgabe und die Genauigkeit der Messungen bestimmt.

Bei der Feststellung der Messgenauigkeit ist die Genauigkeit der Messapparatur und der Abstand zwischen den Messpunkten in Betracht zu ziehen. Die optimalen Messabstände werden durch die gegenüber der Messgenauigkeit gestellten Anforderungen und die Änderungen der Kurve bestimmt. Der Abstand soll so ausgewählt werden, dass die gemessene Ablenkung und die Azimutwinkel die Raumkurve entsprechend charakterisieren.

In der Interpretation scheint es im allgemeinen zweckmässig zu sein die Chordemethode anzuwenden, womit man auch im Falle grösserer Abstände dieselbe Genauigkeit erreichen kann, wie mit der Tangentenmethode bei kleineren Messabständen. Sind die Änderungen in einem der Winkelwerte gering, so führt auch das Annäherungsverfahren zu guten Ergebnissen. Falls grosse Änderungen vorhanden sind und gegenüber der Genauigkeit hohe Anforderungen gestellt werden, ist zweckmässig das Detailverfahren anzuwenden.

A mélyfúrással készített fúrólyukak a legritkább esetben függőlegesek. Az elferdülés a fúrás folyamán létrejöhet minden külső beavatkozás nélkül, vagy szándékos elferdítés következtében. Eszerint a ferde mérések kiértékelésének célja is kettős:

1. Az elferdült fúrólyuk térbeli elhelyezkedésének meghatározása főleg geológiai munkákhoz. A pontossági követelmények itt nem nagyok.

2. Az elferdített fúrás térbeli helyzetének megállapítása. A pontossági követelmények a ferdítés céljainak megfelelően változnak. Irányított ferdefúrások esetében a lehető legnagyobb pontosságra kell törekednünk.

A fenti feladatok legcélszerűbb megoldásához vizsgálni kell:

a fúrólyuk alakját,

a ferdeségmérés által szolgáltatott adatokat.

a különböző mérési módszereket és ezek pontosságát.

A fúróluk alakja

A fúróluk elferdülését geológiai és fúrástechnikai tényezők okozzák.

A geológiai okok két csoportra oszthatók:

a) A fúrólukak alakjára befolyást gyakorolnak a szerkezeti viszonyok, nevezetesen a rétegek dőlése és a kutatandó szerkezet jellege. Kis rétegdőlések esetén a fúróső a rétegekre merőleges helyzetet igyekszik elfoglalni. Nagy dőlésszögek ($55^\circ - 65^\circ$) azt eredményezik, hogy a fúróluk tengelye a rétegek dőlési síkjával közel párhuzamosan halad. Boltozatos szerkezetekre telepített fúrások iránya a boltozat teteje felé mutat. Tört szerkezetek esetében kimutatható a törésvonalak irányába való törekvés.

b) A harántolt kőzetek néhány litológiai tulajdonsága (keménység, hasadékoság) szintén befolyásoló tényező.

A fúrástechnikai okok között az alkalmazott fúrósövek méretei és szilárdsági viszonyai, valamint a fúrás folyamán alkalmazott terhelés a legfontosabbak. Előbbiek a fúrósövek elhajlíthatóságát szabják meg, utóbbi pedig a fúrási irányból való kitérés lehetőségét befolyásolja.

A fúrástechnikai okok hatását mutatják a következők:

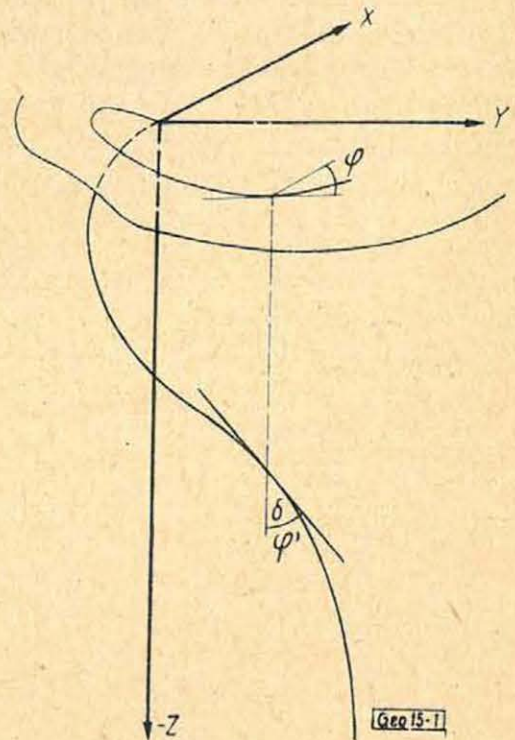
Üzemünkben a „mélyfúró berendezéseknél” általában 5"-es fúrósöveket és 6–7 tonna súlyosbító terhelést alkalmaznak. A fúrólukak ferdesége csak kivételes esetben haladja meg a 2 fokot. Ilyen ferdeség mellett a fúrások alakja legjobban egyenes szakaszokkal közelíthető meg.

A „sekélyfúró berendezéseknél” $2\frac{7}{8}$ "-es fúrósöveket használnak, a súlyosbítóterhelés pedig a 2 tonnát

nem haladja meg. A mért ferdeségek esetenként a 10–12 fokot is elérik, a fúrólukak közelítőleg különböző görbületes sugarú körívekből tehetők össze.

A mélyfúrások ferdítése vagy forgatóasztalos fúrással, főleg ferdítőék alkalmazásával, vagy turbinafúrással történik. Ferdítőék használata esetén a ferdeségváltozás ugrásszerűen következik be. Turbinás ferdítésnél a fúróluk ferdülése folyamatos, érvényes továbbá, hogy nagy ferdeségváltozás esetén az azimutváltozás kicsi, és fordítva.

Matematikailag minden fúróluk olyan folytonos térgörbe, melynek töréspontjai nincsenek, ugrásszerű ferdeség, vagy azimutváltozások esetén sem (1. ábra). A töréspontok lehetőségét a fúrósövekkel történő fúrás ténye kizárja.



1. ábra

A ferdeségmérések által szolgáltatott adatok

Az elferdülések mérésére hazánkban fotoinklinométereket és ingás ferdeségmérő műszereket használnak

(IS-2, IK-2). Ezeknek közös tulajdonsága, hogy csak pontmérésekre alkalmasak, folytonos szelvényezésre nem. A mérésről feltételezzük, hogy a mérőműszer hossz tengelye a mérési pontban a térgörbe érintője.

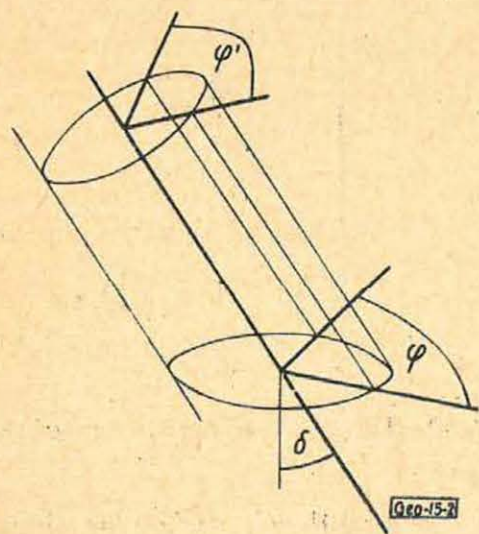
Egy mérési pontban a következő adatokat kapjuk (1. ábra):

- A térgörbe kezdőpontjától a mérési pontig a görbén mért távolságot.
- Az érintőnek a $-Z$ tengellyel bezárt ferdeségi szögét (δ).
- Ingás ferdeségmérőknél az érintő lefelé mutató ága vízszintes vetületének mágneses északi iránnyal bezárt szögét, mágneses azimutját (φ).

Fotoinclinométerek filmjeiről az azimut szögek a lyuktengelyre merőleges síkban levő vetületét olvashatjuk le (φ). A lyuktengelyre merőleges sík a fényképezés síkja (2. ábra). A tényleges azimut a következőképpen függ φ' és δ szögektől:

$$\cos \varphi = \frac{\cos \varphi'}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta \sin^2 \varphi'}}$$

Ha $\varphi' = 0^\circ, 90^\circ$ és $n \cdot 90^\circ$, a mért azimut a valódival megegyezik. Legnagyobb az eltérés, ha $\varphi' = 45^\circ$ vagy $(45^\circ + n \cdot 90^\circ) \cdot \varphi' = 45^\circ$ látszólagos azi-



2. ábra

mutnál δ különböző értékeinél az eltérések a következők:

$\varphi' = 45^\circ$	δ	5°	10°	20°
	φ	$44^\circ 53'$	$44^\circ 34'$	$43^\circ 14'$

A ferdeségmérők mágneses azimut szöget mérnek. Ez a geodéziai észak szöggel (A) nem egyezik. Az összefüggés:

$$A = \varphi + \gamma + \beta$$

ahol β a deklináció, γ a vetületi meridiánkonvergencia, s ezeket előjel-helyesen kell behelyettesíteni. Az összefüggésre főleg az irányított fúrások iránymegadásánál kell figyelmet fordítani.

A fúróluk-térgörbe meghatározásának módjai

A mért adatokból csupán a görbe egyes pontjainak közelítő meghatározására van mód. Közelítő módszerek kidolgozásánál egyszerűsítő feltételeket kell bevezetni. A módszerek két csoportra oszthatók. Nevezük ezeket „húrmódszernek” és „érintő módszernek” aszerint, hogy mérési pontpárok, vagy mérési pontok adatait használjuk fel a számításoknál. Pontosságuk a bevezetett feltételektől függ.

Húrmódszerek

A térgörbét két mérési pontot összekötő egyenesszakaszokkal, húrokkal közelítjük meg. A feladat ezeknek a húroknak azimut és ferdeségszögét, valamint hosszúságát meghatározni. A további számításokat ezekkel szemben a meghatározott értékekkel folytatjuk.

Két lehetőséget vizsgáljunk:

1. tételezzük fel a következőket:

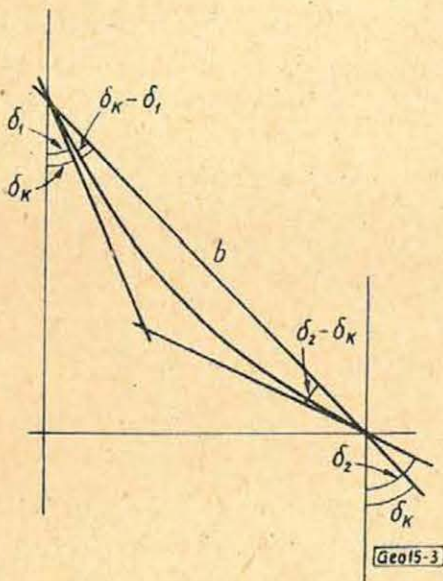
- két mérési pont között a térgörbe vetülete a vízszintes síkon körív.

$$\varphi_k = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

b) Ugyancsak körív a görbe vetülete a két pontot összekötő egyenest magában foglaló, Z tengellyel párhuzamos síkon (3. ábra).

c) Eltekintettünk attól, hogy a ferdeségszöget nem ebben a síkban mérték és a vetület körív végpontjainak érintőit ezekkel a mért ferdeségekkel jellemezzük.

d) A két mérési pont közötti görbén mért távolsággal tesszük egyenlővé az összekötő egyenes hosszát.



3. ábra

Vizsgáljuk az összekötő egyenes (b) ferdeségszögét a 3. ábrán. A körív két érintője a $-Z$ tengellyel δ_1 és δ_2 ferdeségszöget zár be. Az egymást metsző érintőszakaszok és a húr egyenlőszárú háromszög oldalai. Az átfogón levő két szög egymással egyenlő:

$$\delta_k - \delta_1 = \delta_2 - \delta_k$$

Amiből a húr ferdeségszöge

$$\delta_k = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

Az összekötő egyenes azimutja ugyanilyen megfontolással nyerhető

Nevezzük ezt a számítási módot „közelítő eljárásnak”.

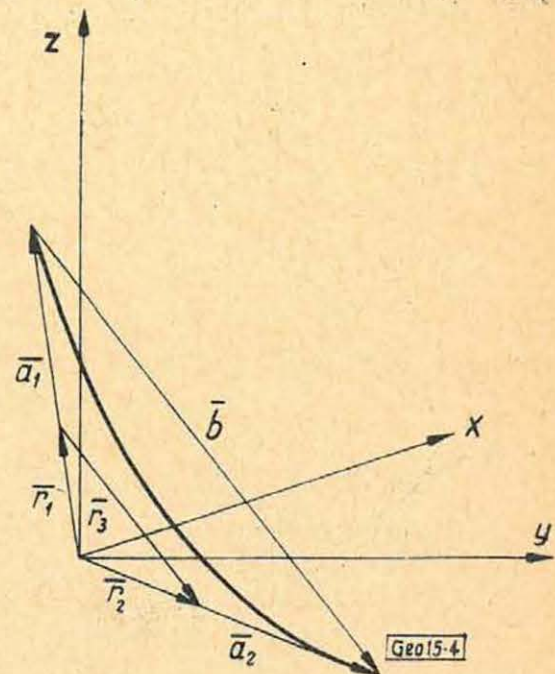
2. Pontosabb eredményt kapunk, ha csak a következő feltételeket szabjuk meg:

a) a térgörbe két mérési pont közötti szakasza körívvel helyettesíthető;

b) a körív két végpontjában a ferdeségmérő tengelye a körív érintője, tehát a két műszertengely-irányú egyenes és a körív egy síkban vannak. Ebben az esetben metszi egymást a két egyenes.

Feladatunk most is a b húr ferdeség- és azimutszögének meghatározása. Meg kell továbbá határozni a húr hosszát is.

Helyezzük koordinátarendszerünk kezdőpontját a két műszertengely-irányú egyenes metszéspontjába (4. ábra). A koordinátarendszer $+x$ tengelye az északi, $+y$ tengelye a keleti irányt jelöli ki, a $+z$ tengely felfelé mutat.



4. ábra

Tekintsük az érintési pontok és a metszéspont között levő egyeneszakaszokat \bar{a}_1 és \bar{a}_2 vektoroknak. A vektorok állását a mért azimut és ferdeségszögek szabják meg, irányuk a tengelyrendszer kezdőpontjától elmutató. Vegyük fel \bar{a}_1 , és \bar{a}_2 egységvektorait, \bar{r}_1 , és \bar{r}_2 -t:

$$\bar{r}_1 = \cos \Phi_1 \cos \Delta_1 \tau + \sin \Phi_1 \cos \Delta_1 \tau + \sin \Delta_1 \bar{k}$$

$$\bar{r}_2 = \cos \Phi_2 \cos \Delta_2 \tau + \sin \Phi_2 \cos \Delta_2 \tau + \sin \Delta_2 \bar{k}$$

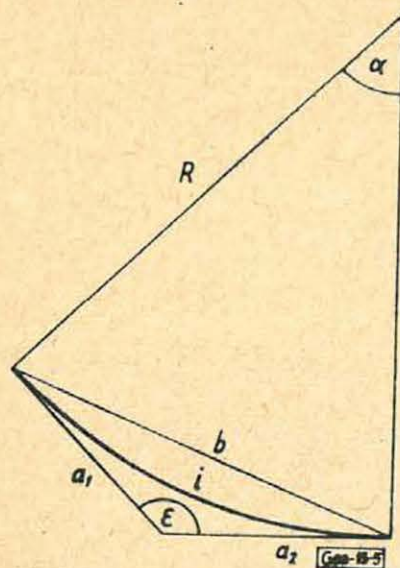
ahol $\Delta_1, \Delta_2, \Phi_1, \Phi_2$, a mért δ ferdeség és φ azimutértékekből származtathatók a vektorok irányának és állásának megfelelő képpen.

Számítsuk ki az egységvektorok által bezárt szöget (ε). Az úgy kapható, hogy a két vektor skalárszorzatát osztjuk abszolút értékeik szorzatával:

$$\cos \varepsilon = \frac{\bar{r}_1 \bar{r}_2}{|\bar{r}_1| |\bar{r}_2|}$$

ahol esetünkben $|\bar{r}_1| |\bar{r}_2| = 1$.

A körív és a két metszőegyenes által meghatározott síkban végzett számításokkal meg lehet határozni b összekötő egyenes hosszát (5. ábra).



5. ábra

Ismerjük ε -t és az i ívhosszat. Az utóbbi feltételezéseink értelmében egyenlő a két mérési pont között a térgörbén levő, általunk mért távolsággal.

Az i ívhez tartozó α középponti szög:

$$\alpha = 180^\circ - \varepsilon$$

A körív sugara

$$R = \frac{i}{\text{arc } \alpha}$$

R ismeretében b számítható:

$$b = 2 R \sin \frac{\alpha}{2}$$

A b húr, mint az ábrán látható irányú \bar{b} vektor, az \bar{a}_2 és \bar{a}_1 vektorok különbsége. Az állást és irányát jellemző δ_k és φ_k értékek megkaphatók, ha a két egységvektort kivonjuk egymásból.

$$\bar{r}_3 = \bar{r}_2 - \bar{r}_1$$

Ebből

$$\sin \Delta_3 = \frac{r_{3k}}{|r_3|} \quad \text{tg } \Phi_3 = \frac{r_{3i}}{r_{3k}}$$

és $\delta_k = 90^\circ - \Delta_3 \quad \varphi_k = \Phi_3$

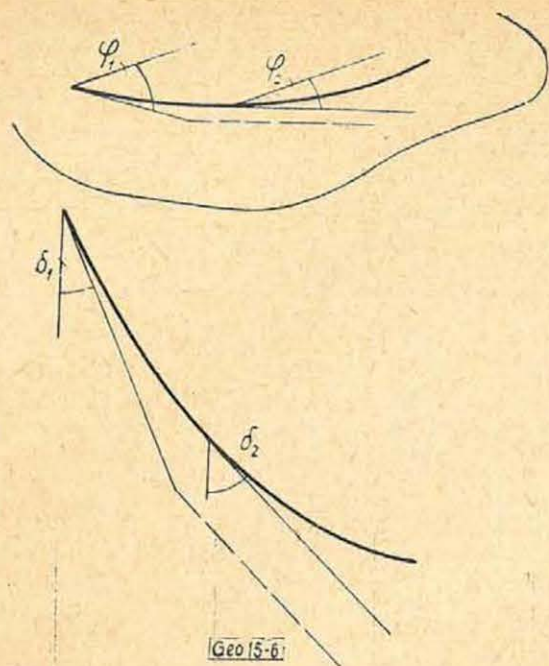
A továbbiakban ezt a számítási módot részletes eljárásnak nevezzük.

Érintő módszer

A térgörbét érintési pontokból kiinduló, érintőirányú egyenesszakaszokkal közelítjük meg. A módszert a 6. ábra szemlélteti, amelyben a térgörbe egy szakasza és annak a vízszintes síkban levő vetülete látható. Az egyenesszakaszok hossza a két mérési pont között a görbén mért távolság, irányszögei pedig a kiinduló pontban mért ferdeség és azimutszögek.

A további feldolgozás

Az irányszögek meghatározása után a további feldolgozást a feladat jellege szabja meg. Kisebb pontos-



6. ábra

sági követelmények és geológiai munka céljaira megrajzoljuk a görbét megközelítő egyenesszakaszok vetületét a vízszintes síkon. A vetületi hosszakat számítjuk:

$$v_i = b_i \sin \delta_{ki}$$

és ezeket a hosszakat az azimut-szögek által meghatározott irányokba rajzoljuk fel.

Számítjuk továbbá a mélységcsökkenést, ami a megközelítő egyenesszakaszok hosszúsága és azok függőleges vetületeinek különbsége

$$M = \sum_{i=1}^n b_i (1 - \cos \delta_{ki})$$

Nagy pontosságot igénylő munkáknál célszerű koordinátákat kiszámítani. Ebben az esetben egy térbeli poligon egyes pontjait határozzuk meg.

A számítási módszerek összehasonlítása

A ferdeségek kiértékelésének pontosságát két tényező befolyásolja:

- az alkalmazott műszer
- a választott kiértékelési módszer.

Itt fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a kiegyenlítő számítás alkalmazásával nem jellemezhetjük egy módszer pontosságát. Ebben az esetben ugyanis csak arról kapunk képet, hogy a mérési bizonytalanságok a megválasztott kiértékelési módszer végeredményeit mennyire befolyásolják. Arról azonban nem, hogy ezzel a módszerrel a térgörbét hogyan sikerült megközelíteni.

Abból a célból, hogy a módszerek pontosságáról tájékozódjunk, azokat össze kell hasonlítani egymással. Az összehasonlításnál olyan fúrési térgörbét feltételezünk, amely körívekből tehető össze. A gyakorlat számára általában csak ez az eset fontos.

Az elvi megfontolások azt mutatják, hogy ilyen esetekben a húrmódszer a pontosabb. Az érintőmódszer alkalmazása ugyanis a térbeli poligon minden irányú elcsavarodását eredményezi (lásd a 6. ábrán a szaggatott vonalat). Az is kitűnik, hogy a részletes eljárás nagyobb pontosságú, mert kezdeti feltételei inkább teljesülnek, mint a közelítő eljárásé. Ez utóbbi feltételezései általában nem teljesülnek, csak abban a szélső esetben, ha az egyik szög nem változik.

A részletes eljárás pontosabban adja a φ_k -t, mint δ_k -t. Ugyanis, ha a kezdeti feltételek a valóságban nem teljesülnek, azaz a két görbe-érintő ténylegesen nem metszi egymást, a számításkor ezeket önkényesen hozzuk metszésbe és így a viszonyokat meghamisítjuk. Az érintők önmagukkal párhuzamos Z irányú eltolása az azimutokat azonban nem változtatja meg.

Részletes összehasonlítás céljából a hajduszoboszlói irányított ferdefúrás 100-m-es szakaszát vizsgáljuk. Az 1. táblázatból látható, hogy ennek a szakasznak egyes részeit nagy ferdeség vagy azimutváltozások jellemzik. A táblázatban a mérési eredmények és a különböző számítási

Hajdúszoboszlói irányított ferdefúrás

Mért értékek			Számított értékek a húrmódszer szerint				Az érintőmódszer felhasznált értékei	
mélys. m	ferd. ^o	azimut ^o	közelítő eljárás		részletes eljárás		ferd. ^o	azimut ^o
			ferd. ^o	azimut ^o	ferd. ^o	azimut ^o		
800	21	157	21 30	158 30	21 30	158 32	21	157
810	22	160	18 45	161 30	18 44	161 15	22	160
820	15 30	163	13 30	165 30	13 29	165 08	15 30	163
830	11 30	168	10 00	176 30	9 54	175 14	11 30	168
840	8 30	185	8 15	197 30	8 04	197 07	8 30	185
850	8	210	8 15	225	7 58	225 28	8	210
860	8 30	240	7 15	250	7 08	248 14	8 30	240
870	6	260	5 45	257 30	5 44	257 37	6	260
880	5 30	255	5 00	257 30	5 00	257 15	5 30	255
890	4 30	260	4 15	260	4 15	260 00	4 30	260
900	4	260						

Mélységsökkenés : 2,04 m

2,06 m

2,4 m

800	21	157	14 30	183 30	13 20	171 07	21	157
850	8	210	6	235	5 30	226 11	8	210
900	4	260						

Mélységsökkenés : 1,57 m

1,71 m

3,81 m

módszerek ferdeség és azimutszögei vannak feltüntetve. A számításokat 1 perc pontosságig végeztem el. A mérési eredményekből feltételezem, hogy azok a lehető legpontosabban adják a ferdeség és azimutszögeket.

Hasonlítsuk össze a közelítő és a részletes eljárást.

A ferdeség-szögeket vizsgálva a következőket láthatjuk:

a) Ha az azimutértékek egyeznek, akkor a két eredmény is egyezik, ami természetes, mert ez a közelítő eljárás szélső esete.

b) Kis azimutkülönbségek esetében a ferdeségszögek közötti eltérések nagyobb ferdeség különbségek esetében is kicsik, kis ferdeség különbségek esetén pedig nincs eltérés a két eredmény között.

c) Nagy azimutkülönbségek esetén a ferdeségszögek is különbözőek és a részletes eljárással számolva kisebbek lehetnek, mint a mért szögértékek.

Az azimutszögek összehasonlítása azt mutatja, hogy abban az esetben,

a) ha két mérési pont ferdeség és azimutszögei nem sokban különböznek, a két eljárással számított értékek jól megegyeznek;

b) Ha az azimut különbsége nagy, a ferdeségszögek kis különbsége is nagy eltérést okoz;

c) ha mind az azimutok, mind a ferdeség értékek nagyon különbözők, az eltérés is nagy.

A táblázatban az 50 m-es mérési távolságok esetére kiszámított ada-

tok, valamint a különböző módszerek adataival kiszámított mélységcsökkenések is szerepelnek.

A további összehasonlítást szolgálja a 7. ábra. Az 1. görbe a részletes, a 2. görbe a közelítő eljárás adataival kiszámított vízszintes vetületeket mutatja. Látható, hogy az eltérés 900 m-es végpontokban 0,11 m.

A 6. és 7. görbe az 50 m-es mérési távolságok esetére kiszámított vízszintes vetület, a részletes és közelítő eljárás szögértékeivel és b hosszaival. Az eltérések az előbbi végpontokhoz viszonyítva nagyok, de a részletes eljárás adataival számított vetületnél lényegesen kisebbek, mint a közelítő eljárással számítottnál. Ugyanez vonatkozik a 850 m-es pontokra is.

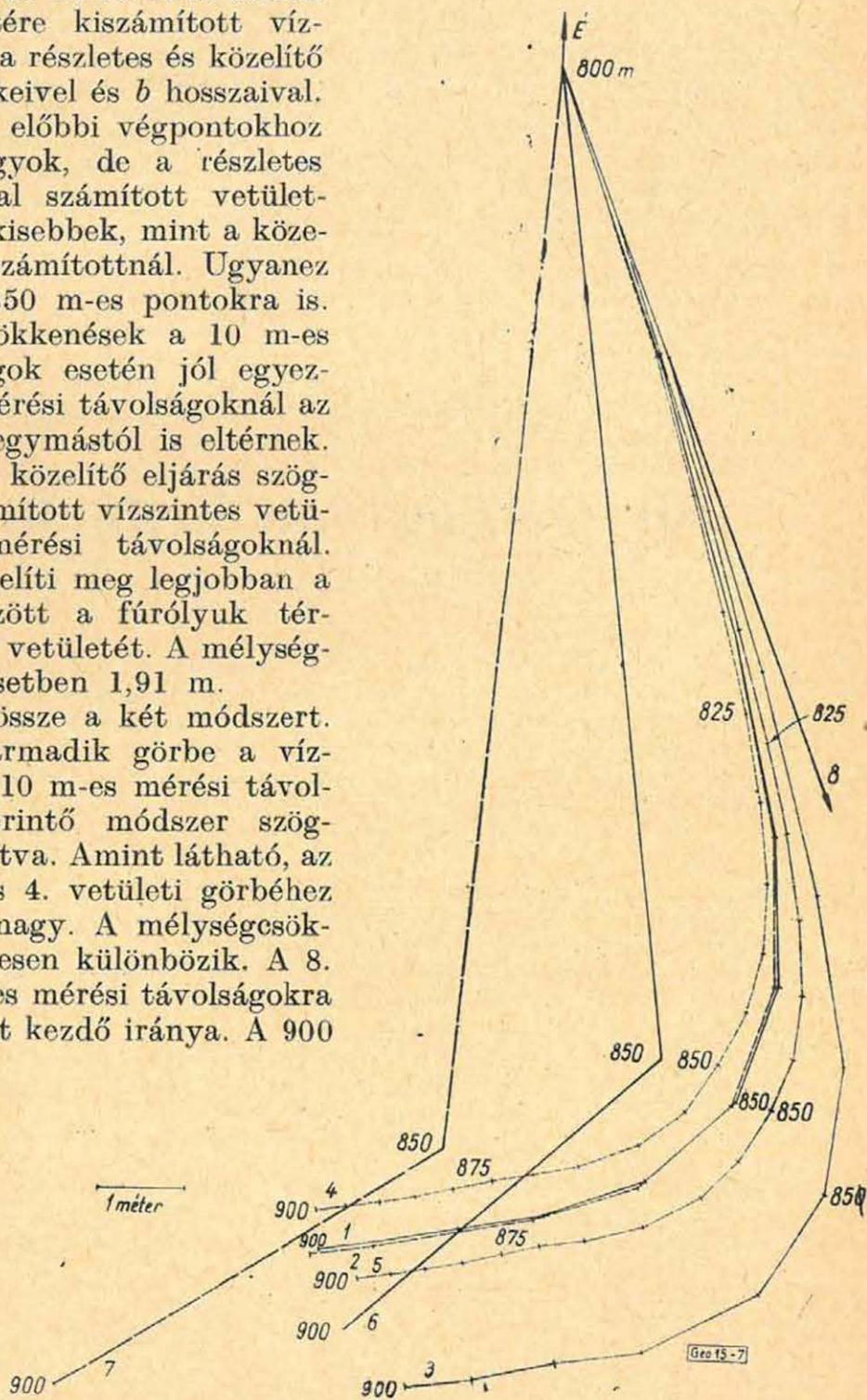
A mélységcsökkenések a 10 m-es mérési távolságok esetén jól egyeznek, az 50 m mérési távolságoknál az előbbiektől és egymástól is eltérnek.

A 4. görbe a közelítő eljárás szögadataival kiszámított vízszintes vetület, 5 m-es mérési távolságoknál. Ez a görbe közelíti meg legjobban a felrajzoltak között a fúróluk tér görbe vízszintes vetületét. A mélységcsökkenés ez esetben 1,91 m.

Hasonlítsuk össze a két módszert. A 7. ábrán a harmadik görbe a vízszintes vetület 10 m-es mérési távolságoknál az érintő módszer szögadataival számítva. Amint látható, az eltérés az 1. és 4. vetületi görbéhez viszonyítva is nagy. A mélységcsökkenés is lényegesen különbözik. A 8. görbe az 50 m-es mérési távolságokra érvényes vetület kezdő iránya. A 900

m-es végpont eltérése itt már nagyon nagy.

Az 5. görbe az érintő módszerrel számított vetület 5 m-es mérési távolságok esetében. Amint látható még ez sem ad olyan jó eredményt, mint a 10 m távolságú mérések húrmódszerrel feldolgozva.



7. ábra

A 7. ábrából és a mélycsökkenések kiszámított értékeiből az is látható, hogy a húrmódszer, különösen a részletes eljárás, kevésbé érzékeny a mérési távolságok megváltozására, mint az érintómódszer.

A részletes eljárással a térgörbét helyettesítő körívek sugarait is számítjuk. Ezekre az értékekre fúrési szempontból lehet szükség. Ha számítani akarjuk, hogy a fúrólýuk fal-súrlódása milyen mélységi eltérést okoz a geofizikai méréseknél, szintén szükségünk van a helyettesítő körívek sugarára.

A fenti lyukszakasz néhány számított R értéke:

810–820 m között 87 m (nagy ferdeségváltozás),

820–830 m között 140 m (közepes azimut és ferdeségváltozás),

890–900 m között 1150 m (kis változások).

IRODALOM

- [1] Komarov Sz. G.: Technika promüszlovoj geofiziki (Moszkva, 1957)
- [2] Fölsz Attila: Rétegdőlésmérések kiértékelése. (Kézirat).
- [3] Deres János: Ferdefúrások térbeli helyének meghatározása. (Bányászati Lapok 1962. 3. sz.).

Zur Ortung von Erdbeben

W. ULLMANN - R. MAAZ

Die am Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena durchgeführten theoretischen Untersuchungen über die Ortung seismischer Herde in Bergbaugebieten können durch entsprechende Modifizierung der Überlegung auf eine Halbkugel übertragen werden. Das daraus resultierende Ortungsverfahren berücksichtigt von vornherein eine kugelförmige Erdoberfläche.

Zuerst wird aus Messungen an drei Stationen ausgegangen und vorausgesetzt, dass diese samt mit dem zu lokalisierenden Erdbebenherd auf einer die Erdoberfläche approximativ darstellenden Kugel liegen. Für die Ortung eignet sich prinzipiell jede seismische Welle, die sich mit bekannter, nahezu konstanter Geschwindigkeit parallel zur Erdoberfläche ausbreitet. Aus den Seismogrammen werden die Einsatzzeiten einer an den drei Stationen am deutlichsten registrierten Phase abgelesen. Die Produkte der zu bildenden Laufzeitdifferenzen mit der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit liefern sphärische Abstandsdaten, die zusammen mit den geographischen Koordinaten die rechnerische Ortbestimmung des Herdes ermöglichen. Die Unterscheidung zwischen den bei der Rechnung ergebenden äquivalenten Paare der Herde verursacht einige Schwierigkeiten, gelingt aber meistens in den praktischen Fällen.

Verfügt man über mehr als drei seismischen Stationen, dann kann das Verfahren entsprechend erweitert und die überzähligen Daten zur Verfeinerung der Ergebnisse benützt werden. Die numerische Durchführung des Verfahrens wird bei der Verwendung eines elektronischen Rechenautomaten im wesentlichen mit der Programmierung gelöst.

Ein neuer Vertikalseismograph mit galvanometrischer Registrierung

C. H. TEUPSER - W. ULLMANN

Seismische Stationen mit Instrumenten gleicher Abstimmung für die beiden horizontalen Komponenten und die vertikale Komponente der Bodenbewegung auszurüsten ist eine bekannte und oft erhobene Forderung. Es war daher auch ein Ziel der seismometrischen Forschung am Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena, zu dem bereits bekannt gemachten elektrodynamischen Horizontalseismographen HSJ-I den entsprechenden Vertikalseismographen VSJ-I zu entwickeln.

Die grundlegenden Betrachtungen über die Abstimmung sind beim Vertikalseismographen die gleichen gewesen, wie beim horizontalen. Die Anwendung der galvanometrischen Registrierungsmethode erweist sich beim Vertikalinstrument schon deshalb empfehlenswert, da die selbst bei kleinen Temperaturschwankungen schon sehr grossen Nullpunktsverlagerungen nicht registriert werden. Die reduzierte Pendellänge wurde ebenfalls $l = 50$ cm gewählt und das gleiche Typ H-01 des Galvanometers eingesetzt; die Gehängemasse ist cca 4 kg.

Wenn auch die Konstanten vom Horizontal- und Vertikalinstrument übereinstimmen, so besteht doch ein wesentlicher Unterschied in der Art der Aufhängung des Gehänges. Um bei einer reduzierten Pendellänge von 50 cm die hohe Eigenperiode von 20 s zu erreichen, wird beim Vertikalseismographen eine geeignete Anordnung der Aufhängefeder vorgenommen.

Der seismische Empfänger der Einrichtung soll natürlich nur die vertikale Komponente der Bodenbewegung empfangen und für horizontale Translationen unempfindlich sein. Aus theoretischen Erwägungen ergibt sich, dass wenn der Massenmittelpunkt des Gehänges und der gehängefeste Angriffspunkt der Aufhängefeder in die horizontale Ebene durch den Schwerpunkt gelegt werden, ist der Vertikalseismograph in der Gleichgewichtslage gegen horizontale Translationen nicht empfindlich, ganz gleich wie gross die Masse der Aufhängefeder ist. Daraus ergeben sich Bedingungen für die Lagerung des Gehänges mit Berücksichtigung der Federmasse. Es wird eine Lösung gewählt, wie es schon auch Lacoste vorgeschlagen hatte.

Wie beim Horizontalseismographen ist sehr viel Aufmerksamkeit auf eine einwandfrei definierte Drehachse zu legen; als beste Lösung erwies sich ein nur auf Zug beanspruchtes Blattfedergelenk.

Die grösste Schwierigkeit bei der Konstruktion von langperiodischen Vertikalseismographen bereitet der Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls der Aufhängefeder. Da bei gewöhnlichem Federstahldraht der Temperaturkoeffizient mindestens zehnmals grösser ist, als der theoretisch zugelassene Wert, musste zu einer Speziallegierung gegriffen werden. Es wurde vorbehandeltes Nispan C verwendet und dadurch die für Grösse des Temperaturkoeffizienten aufgestellte Schranke - wenn auch knapp - erreicht.

Zum Schluss werden ein Mustergerät und das ebenfalls neu entwickelte Registriergerät im Lichtbilde gezeigt.