

## SÓDÓMOK KUTATÁSA GEOFIZIKAI MÓDSZEREKKEL.

Írta: *Fekete Jenő.*

A gyakorlati irányú geofizikai kutatások nem régi keletűek, mert bár régebben is végeztek egyes helyeken gyakorlati célből geofizikai méréseket, ezeknek széleskörű elterjedése csak 1923-ban kezdődött, amikor *sőtetek, sódómok felkutatására* kezdtek használni azokat. E feladat megválasztása nagyon szerencsés is volt, mivel a gyakorlati geofizika eddig legnagyobb és legmeglepőbb eredményeit éppen földalatti nagy sőtetek biztos kimutatásával érte el. Eleinte e célra csak a *szeizmikus méréseket és az Eötvös-féle torziós ingát* használták, ez utóbbit *Báró Eötvös Lóránd* által kidolgozott módszer szerint, aki már 30 évvel ezelőtt kijelölte azt az utat, amelyet kisebb módosításokkal még ma is követünk. A torziós ingamérések eredményeinek geológiai problémákkal való kapcsolatára pedig dr. *Böckh Hugó* éppen sőtetekkel kapcsolatban mutatott rá először. „*Braehyantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett mérések adata alapján*” című 1917-ben megjelent értekezésében.\*

A braehyantiklinálisok és dómok esetében a torziós ingával nyert adatok szempontjából *Böckh* két esetet különböztet meg: 1. midőn a dóm magjában só van és a kősó sűrűsége kisebb, mint a fedő rétegeké, mely esetben a torziós inga adatai a nehézségerő kisebbedését mutatják a dóm teteje felé, azaz úgynevezett *gravitációs minimumot* adnak, és 2. midőn a dóm magjában a fedő rétegek sűrűségénél nagyobb sűrűségű kőzet van, amely esetben a torziós inga adatai gravitációs maximumot adnak.

Az 1912 és 1913 években a Maros völgyében *Eötvös* által végeztetett torziós ingamérések eredményeit összehasonlítva a Maros völgyének hosszanti geológiai szelvényével, *Böckh* arra az eredményre jutott, hogy a geológiai szelvényekben jelentkező *antiklinálisok tengelye felett* több esetben *gravitációs minimum* van. Ez pedig *Böckh* előbb említett elmélete szerint azt jelenti, hogy az ilyen helyeken a braehyantiklinálisok vagy dómok magjában kősó van. A só némely helyen a felszínre jut vagy közel van a felszínhez, máshol azonban oly mélységben marad, hogy azt eddig a fúró nem érte el. *Böckh* ezen elmélete az azóta szerzett tapaszt-

---

\* Bányászati és Kohászati Lapok 1917. évf. 9. száma.

talatok alapján jelentékenyen módosult ugyan, de azért tényleg ő volt az első, aki a torziós inga adataiból sötetek jelenlétére következtetett.

A huszas évek elején aztán már *Németországban* is végeztek sódóмок felett torziós ingaméréseket és ott is gravitációs minimumokat kaptak. Tekintve azonban a németországi sódóмок bonyolult szerkezetét, az észlelt gradiensek nagyon szabálytalan eloszlást mutattak.

Mint említettük a torziós ingamérések gyakorlati alkalmazása nagy lendületet 1923-ban vett; ekkor kezdtek *Amerikában* alkalmazni és pedig először az *Északamerikai Egyesült Államok Texas és Louisiana* államaiban, a mexikói öböl északi partvidékén és kisebb mértékben *Mexikóban*, az *Atlanti és Csendes Óceánokat* elválasztó *földszoroson*. Mindkét helyen a torziós inga alkalmazásának kimondott célja a sötetek kutatása volt. *Texas és Louisiana* államokban ugyanis a felszíni indikációk alapján már nem tudták újabb dómokat találni úgy, hogy az egész területen 1922-ben összesen 48 sódóm volt ismeretes, amelyből azonban 37-et még 1911 és 1917 között találtak és csak 11-et 1917—1922 között. A torziós inga és a szeizmikus mérések bevezetése után 1930-ban már 87 dóm volt ismeretes és sok más oly helyet ismertek, ahol a geofizikai felvételek sódóm jelenlétét jelezték, de a fúrási munkálatok ezen indikációkat még nem igazolták.

Az első kísérleti torziós ingamérések *Amerikában* már ismert sötetek felett történtek. Így a legelső torziós ingamérések színhelye a *Texas és Louisiana* határán levő *Spindletop* sódóm volt, amelynek alakja a sok száz lemélyített fúrás adatai alapján már teljesen ismert volt. E sódóm felett az első torziós ingamérések nagy meglepetésre hatalmas *gravitációs maximumot* adtak a várt minimum helyett. További mérések ismert sötetek felett, valamint a mexikói sötetek felett nyert eredményeken végzett számítások azt mutatták, hogy ott, ahol a sódóm közel jut a felszínhez és azt hatalmas fedőkőzet borítja, de különösen ha mészkő, gipsz stb. mellett a fedőkőzet főleg anhidritből áll, úgy a sódóm felett legtöbbször *gravitációs maximum* jelentkezik.

A sódóмок geofizikai kutatása természetesen első sorban gyakorlati célt szolgált, mivel — mint ismeretes — a *texasi és louisianai* sötetek majdnem minden esetben olajelőfordulással kapcsolatosak. Némely esetben az olaj a sódómot fedő mészkőben van, legtöbbször azonban a meredeken feltörő sódóмок oldalán felgyűrt üledékekben található, vagy pedig, mint újabb időben tapasztalták, a mélyen fekvő sódóмок által felnyomott boltozódások tetején van.

Az igen nagy számban végzett torziós ingamérésekből, amelyeket mindig nyomon követett a fúró, a sódóмок gravitációs hatásának több típusát állapították meg: ezek ismerete mellett aztán más hasonló gravitációs rendellenességekből könnyű volt új

sódómok jelenlétére és azok alakjára és szerkezetére következtetni.

Mint már említettük, egy sötést, ha azt nehezebb üledék fedibe, és nincs fedőkőzete, általában mint *gravitációs minimum* jelentkezik, mint például az *erdélyi, németországi és romániai* sódómok vagy sötések esetében.

A *texasi* nem nagy mélységben fekvő sódómok legtöbbszörre mint nagy *gravitációs maximumok* jelentkeznek a gradiensek igen szabályos sugárszerű eloszlásával. Így az 1. ábra egy texasi sódóm által okozott gravitációs rendellenességeket mutatja. Megfordítva



Fig. 1. ábra. Gravitációs maximum sódóm felett. Gravitációs rendellenességek mérete 1 mm = 11.5 E. Isogrammák közé  $0.2 \cdot 10^{-3}$  C. G. S. Térképméret 1: 57.300. — Gravity maximum on a salt dome. Scale of gravity anomalies 1 mm = 11.5 E. Isogram interval  $0.2 \cdot 10^{-3}$  C. G. S. Scale of map 1: 57.300.

azonban nem áll a dolog, mert nem minden *gravitációs maximum* indikál fedőkőzettel bíró *sötestet*, hanem csak a közönséges *boltozó-íást* a mélyebben fekvő sűrűbb alakulatokban. A különbség azonban a kétféle maximum között az, hogy a sódóm felett talált maximum közepétől távolodva a szélek felé, a közép felé irányuló gradiensek elérnek egy maximális értéket, majd folyton kisebbedve ellentett irányúak lesznek s bár kis értékűek, de megtartják sugaras elrendezésüket. A középtől nagyobb távolságra ugyanis a fedőkőzet pozitív gravitációs hatása, amely a közép felé irányul, eltűnik és a hatalmas sötést negatív gravitációs hatása lesz túlnyomó. Közönséges boltozódás esetében a gradienseknek ezen szabályos átfordulása nincs meg.

Az említett sódóm már szintén ismert volt a torziós ingamérések idején, de a dóm alakját a fúrások elégtelen száma miatt nem mindenhol ismerték. A feladat az volt, hogy a sódóm pontos alakját, de különösen a meredeken leeső oldalak helyét a felszínen ki lehessen köröskörül jelölni, hogy a fúrásokat ez oldalfalon kí-

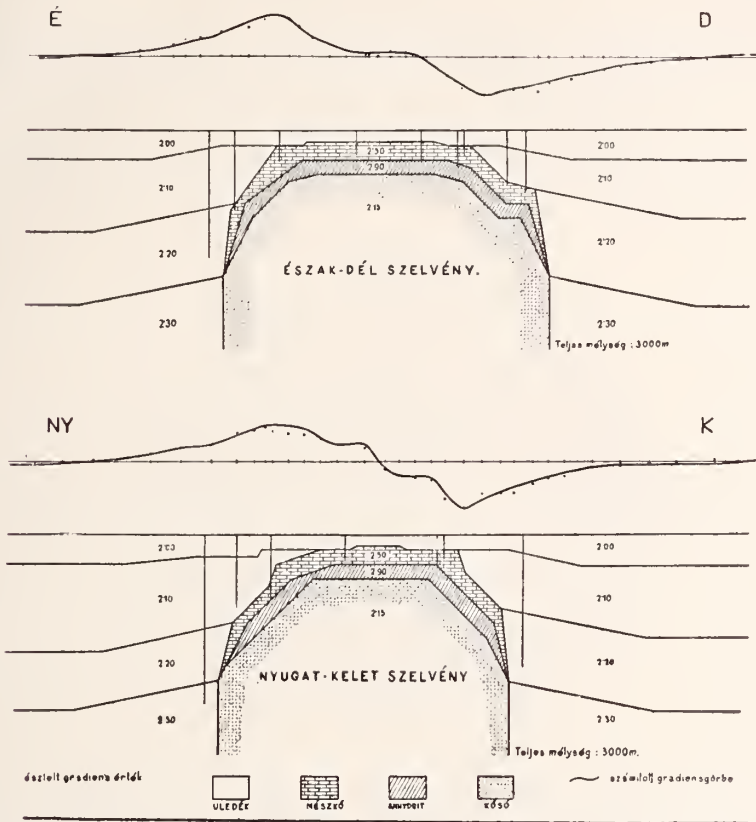


Fig. 2. ábra. Az 1. ábra sódómjának két keresztmetszete számítás útján meghatározva. Gradiensek mérete 1 mm = 11 E. Térképméret = 1 : 54.800. — Two profiles of the saltmode shown in Fig. 1, Scale of the gradients 1 mm = 11 E. Scale of map 1 : 54.800.

vül, de ahhoz igen közel mélyítsék le, mivel olaj elsősorban e helyeken volt várható. Az ábrán látható *izogammák*, azaz a nehézség-erő egyenlő értékű rendellenességeit összekötő vonalak a sódóm oldalának pontos meghatározására nem alkalmasak. Erre a célra szelvényszámításokat szokás végezni, amelynél a sódóm keresztmetszetét a meglévő fúrási adatoknak megfelelően vévén fel, kiszámítjuk a sódóm gravitációs hatását és összehasonlítjuk a szelvény mentén észlelt gravitációs hatással. Ott, ahol eltérés mutatkozik a számított

és észlelt hatások között, a sódóm alakját, fedőközeit, de különösen lemélyülő oldalának helyét addig és úgy változtatjuk, természetesen a fúrési adatok pontos betartásával, míg kielégítő megegyezést nem kapunk a számított és észlelt hatások között. Az ilyen számításokhoz mindig szükségesek a különféle alakulatok sűrűségei is, amelyeket a fúrólukakból nyert mintákon külön kell meghatározni.

Ilyen két szelvény látható a 2. ábrán, amelynek a sódómon É-D és Ny—K irányokban haladnak keresztül. A fekete pontok az észlelt és a keresztmetszetre vetített *gradiensértékeket* tüntetik fel, míg a görbe vonal a számított *gradiensgörbét* mutatja, amely a keresztmetszetben feltüntetett sódóm gravitációs hatása a szelvény mentén. A megegyezés a számított és észlelt értékek között teljesen

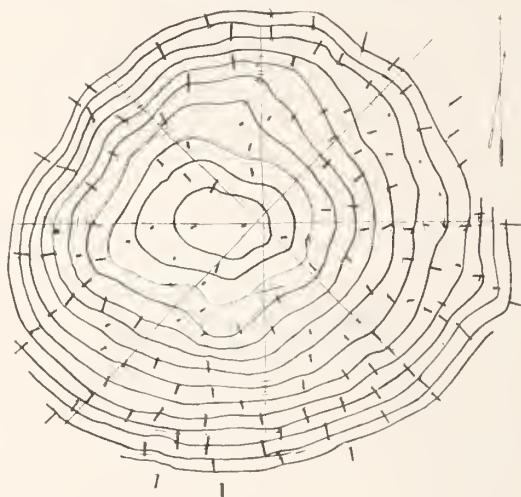


Fig. 3 ábra. Gravitációs minimum sódóm felett. Gravitációs rendellenességek mérete  $1 \text{ mm} = 8.7 \text{ E}$ . Izogammák köze  $0.25 \cdot 10^{-3} \text{ C. G. S.}$  Térképméret  $1:87.000$ . — Gravity minimum on a salt dome. Scale of gravity anomalies  $1 \text{ mm} = 8.7 \text{ E}$ . Isogam interval  $0.25 \cdot 10^{-3} \text{ C. G. S.}$  Scale of map  $1:87.000$ .

kielégítő. A különböző rétegek érintkező felületei síkoknak vannak feltételezve a számítás egyszerűsítése végett. Első pillanatra az egész számítás feleslegesnek látszhatik, de meg kell gondolni, hogy például a déli végén a só oldala teljesen ismeretlen volt, a nyugati és keleti oldalon pedig valahol a két legszélső fúrás közé esett, de pontos helyét nem ismerték.

Azonban nem minden sódóm, amely közel fekszik a felszínhez, ad gravitációs maximumot és pedig még akkor sem, ha fedőköze is van. Így a 3. ábra egy gravitációs minimumot ábrázol, a-

melyet egy texasi másik sódóm felett nyertek. Bár e dóm közel fekszik a felszínhez, és fedőkőzete is van, de ez nőbbi aránylag nem vastag és olyan alakja van, hogy ennek pozitív gravitációs hatása nem tudja kompenzálni vagy felülmúlni a hatalmas sötést negatív gravitációs hatását és így gravitációs minimum jön létre.

A 4. ábra szintén olyan sódóm felett észlelt gradienseket mutat, amelynek negatív hatása nagyobb, mint a meglévő fedőkőzet pozitív hatása, miért is a sódóm felett *gravitációs minimumot* kaptunk. Az aránylag kis gradiensértékek onnan származnak, hogy e

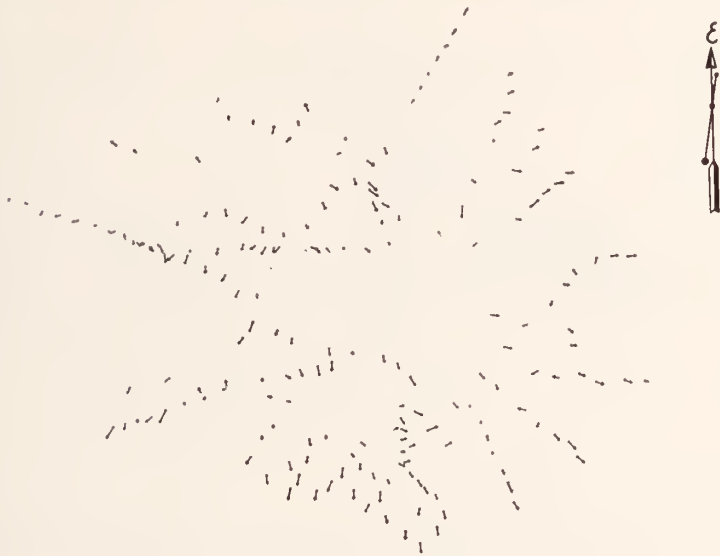


Fig. 4 ábra. Gravitációs minimum fedőkőzettel bíró sódóm felett. Gravitációs rendellenességek mérete 1 mm = 4 E. Térképméret = 1:160.000 — Gravity minimum on salt dome with caprock. Scale of gravity anomalies 1 mm = 4 E. Scale of map 1:160.000.

sódómnak bár vastag fedőkőzete van, de annak sűrűsége a benne lévő nagy mennyiségű *kén* miatt kicsiny. E dóm a *legnagyobb* ismert sódóm Texasban és ma a világ *legnagyobb kénbányája*.

1923-tól 1929-ig a mexikói öböl északi partján a felszínhez közel fekvő sódómokat már mind felkutatták. Ezután került sor olyan sódómok kutatására, amelyek a felszín alatt nagyobb mélységben vannak. Az ilyen mélyenfekvő sódómok a torziós ingamérések eredményeiben mindig mint gravitációs minimumok jelentkeznek.

Ilyen sódóm gravitációs hatását láthatjuk az 5. ábrán. E sódóm tetején már régebben ismert olajmező volt, míg magát a sótestet csak 1927-ben érték el 1800 méter mélységben, amely fúrás eredményeként az olajmező lényegesen nagyobb lett.

A mélyen fekvő sódómok által okozott gravitációs hatás, bár mindig mint *gravitációs minimum* jelentkezik, nem olyan szabályos, mint a magasabban fekvő sódómok gravitációs hatása. Nagy *regionális hatások* elfödhetik a sódóm hatását, vagy messze eltolhatják a minimum közepét a sódóm valódi tengelyétől. Azután nem minden gravitációs minimumnak felel meg sótest, mert a különböző sűrűségű üledékekben vagy kőzetekben előforduló *mélyedések* is adhatnak *minimumot*. Azt a kérdést, vajjon valamely gravitá-

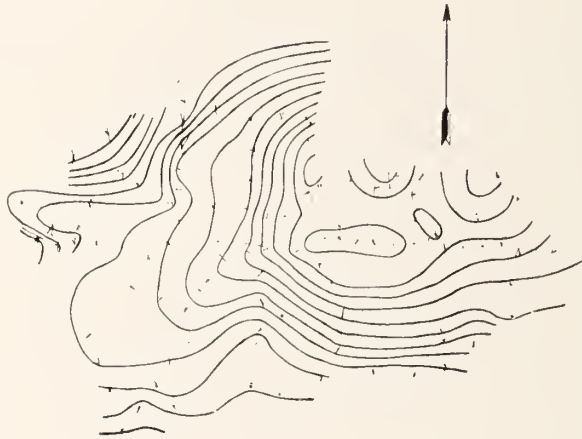


Fig. 5. ábra. Gravitációs minimum mélyen fekvő sódóm felett. Gravitációs anomáliák mérete 1 mm = 9 E. Izogammák köze  $0,1 \cdot 10^{-3}$  C.G.S. Térképméret 1:90.000. — Gravity minimum on deeplying salt dome. Scale of gravity anomalies 1 mm = 9 E. Isogam interval  $0,1 \cdot 10^{-3}$  C.G.S. S. Scale of map 1:90.000.

ción *minimumnak* sótest felel-e meg, vagy pedig csak *mélyedés* a rétegekben, egyedül a torziós inga mérések adataiból *nem mindig lehet eldönteni*, erre egy újabb geofizikai módszer, a *reflexiós szeizmikus* eljárás szükséges. A *reflexiós szeizmikus mérések* sódómok és a rétegekben levő boltozódások felett minden esetben ugyanazon eredményeket adják, feltéve, hogy a felszín alatt jó reflektáló felület van jelen. Azonkívül a *reflexiós szeizmikus mérések* mindig megadják a sódómok vagy boltozódások *valódi tengelyét*, míg ez — mint fentebb említettük — a gravitációs mérésekre nem áll.

A szeizmikus méréseket nagyobb méretekben szintén 1923-ban kezdték alkalmazni, de akkor még az úgynevezett *refrakciós szeizmikus eljárást* használták. A szeizmikus méréseknek — és pedig úgy a refrakciós, mint a reflexiósnak — alapelve, hogy a föld felszínén vagy nem nagy mélységben robbantással mesterségesen gerjesztett *szeizmikus hullámok* elterjednek, de a különböző rétegekben nem egyforma terjedési sebességgel haladnak. Ha egy egyenmő rétegben tovaterjedő hullámok egy olyan másik réteg határfelületéhez érnek, amelyben a szeizmikus hullámok terjedési sebessége lényegesen nagyobb, mint a fedőrétegben (lásd 6. ábra), akkor a következő esetek lehetségesek:

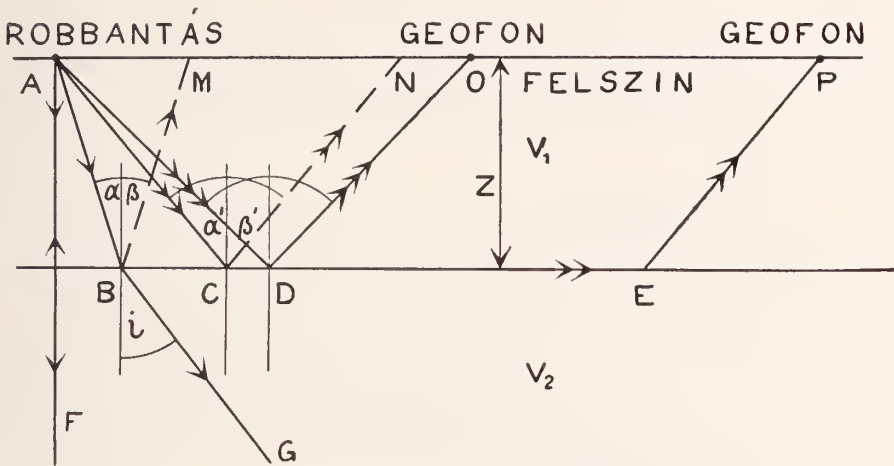


Fig. 6. ábra. Szeizmikus hullámok törése és visszaverődése. — Refraction and reflexion of seismic waves.

1. *A hullámok egy része B pontnál törést, refrakciót, szenvedve behatol az alsó közegbe, míg egy másik, kisebb része visszaverődik a felszínre (lásd az egyszeres nyíllal jelzett hullámokat).*
2. *A hullámok C pontban behatolnak a második közegbe és  $V_2$  terjedési sebességgel annak határfelületén haladnak tovább (lásd a kétszeres nyíllal jelölt hullámokat), majd a határfelület valamely E pontjából reflektálva a felszínre jutnak, ahol azokat a P pontban elhelyezett felvő készülékek, geofonok felfogják és megérkezési idejüket nagy pontossággal jelzik.*
3. *A hullámok a második közeg határfelületén D pontban teljes visszaverődést szenvednek és O pontban érik a felvő készülékeket (lásd a háromszoros nyíllal jelölt hullámok).*

A 2. alatti hullámokat használja fel a refrakciós és a 3. alattiakat a reflexiós szeizmikus módszer.

*Texas és Louisiana államokban* a refrakciós szeizmikus módszert úgy alkalmazták, hogy 4—6 felvevő készüléket a robbantási ponttól nagyobb távolságra ezen pontot magában foglaló szelvény mentén helyeztek el s mérték a robbantás pillanata és a hullámoknak a felvevő készülékekhez való megérkezése között eltelt időt. Ha a rétegek szeizmikusán homogének voltak, azaz a hullámok terjedési sebessége a rétegekben közel ugyanaz volt, úgy minden felvevő készülékre nézve a hullámok megérkezési ideje arányos volt a felvevő készülékeknek a robbantó ponttól való távolságával. Ha azonban a hullámok oly rétegen haladtak át, amelyekben a terjedési sebesség jóval nagyobb volt, mint az előző rétegben, akkor a hullámok megérkezési ideje kisebb lett. A megszerkesztett idő-út görbéből meg lehetett határozni a különböző rétegekben a terjedési sebességet és azokat a helyeket, ahol a terjedési sebességben változás állott be, vagyis a különböző rétegek határfelületeit.

A refrakciós szeizmikus mérések egy másik módja az volt, hogy a felvevő készülékeket a robbantási pont köré egy nagyobb körív mentén helyezték el s ha, valamelyik felvevő készüléknél a hullámok megérkezési ideje jóval kisebb volt, mint a többinél, akkor igen valószínű volt, hogy az illető felvevő készülékhez eljutott hullám *sótesten* haladt át. A felvevő készülékek többféle esoportosításából azután nemesak a sótest helyét, de annak alakját is meg lehetett határozni, bár sohasem olyan biztossággal és részletezéssel, mint a felszínhez közeleső *sódómok* esetében a torziós ingával. A nem nagy mélységben fekvő *sódómoknak* egész sorát találták meg *a mexikói öböl északi partján* a refrakciós szeizmikus módszerrel. Később azonban, midőn ezek már mind ismertekké váltak, a mélyen fekvő sótestek kutatása ezzel a módszerrel mind nagyobb és nagyobb nehézségekbe ütközött.

Ugyanis, hogy a szeizmikus hullámok mélyebbre hatoljanak le, a felvevő készülékeket nagy távolságra, 9—10 kilométerre, kellett eltenni a robbantási ponttól. E nagy távolság azután a robbantási energiának oly nagy veszteségével járt, hogy 200—300 kilogramm dinamitnak egyszerre való felrobbantása volt szükséges, hogy a felszínre visszakerülő hullámok még felfoghatók legyenek. A nagy mennyiségű robbantó anyag és az annak felrobbantásával okozott el nem kerülhető károk *oly költségessé tették* e módszer alkalmazását, hogy annak használata többé *nem volt gazdaságos*.

Ekkor kezdtek foglalkozni a fentebb már említett *reflexiós szeizmikus eljárással*, amelynél a nagyobb terjedési sebességgel bíró réteg határfelületéről visszavert hullámoknak a felvevő készülékekhez való megérkezésének az idejét mérjük. Igaz, hogy ebből az adatból semmit sem lehet a szeizmikus hullámok terjedési se-

bességére vonatkozólag megtudni, de ha a terjedési sebességet más módon meghatározzuk, úgy ebből, a robbantás és a hullámok megérkezése között eltelt időből és a robbantási pontnak a felvevő készülékektől való távolságából nagy pontossággal lehet a visszaverő réteg mélységét kiszámítani. Sőt az egyes felvevő készülékekre érvényes kis időkülönbségekből a réteg dőlését s annak irányát is

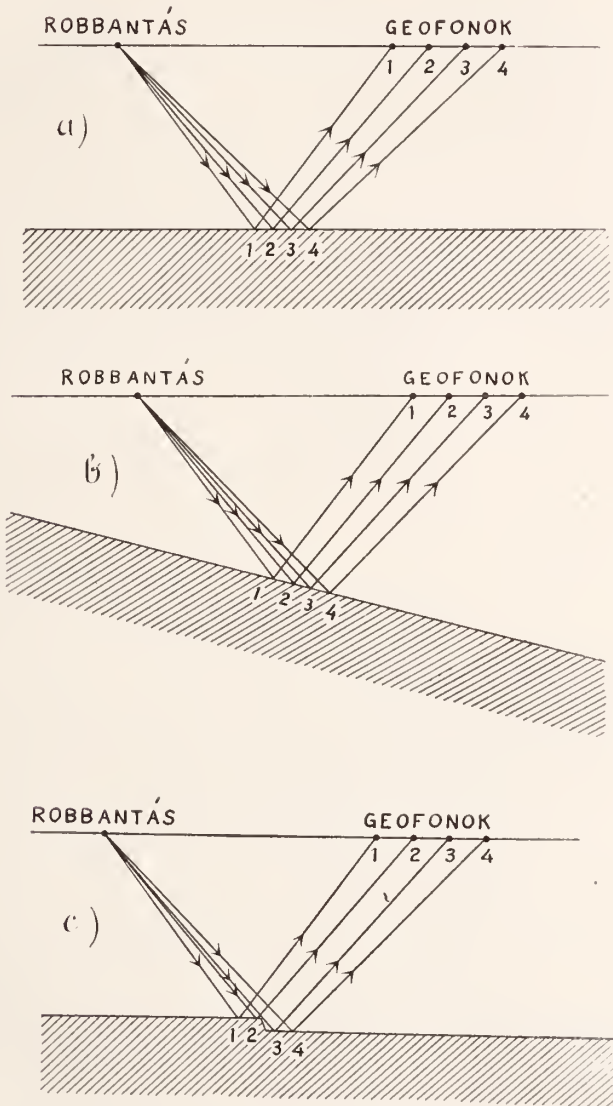


Fig. 7 ábra. Különböző felületekről visszavert szeizmikus hullámok.  
— Seismic waves reflected from different surfaces.

meghatározhatjuk. Aránylag kis energiáival, már 100–500 gram dinamit felrobbantásával is kaphatunk igen biztosan meghatározható reflexiót, ha csak a *fedő réteg homogén* és nincsenek benne a szeizmikus hullámokat szétszóró töredezett rétegek. E módszerrel igen nagy eredményeket értek el oly mélyen fekvő sötetek kutatásában, ahová a fúró le sem hatolt, de a felettük lévő *boltozóátsók* a legtöbb esetben *kitűnő olajtartó rétegeknek* bizonyultak.

Sódómok kutatására földmágneses méréseket is alkalmaztak, azonban, amennyire biztos útmutatást ad a földmágnesesség rendellenességének eloszlása a föld alatt lévő erősen mágneses hatású éreek kutatására, amnyira bizonytalan az észlelt földmágneses rendellenességekből sötetek jelenlétére következtetni. A só ugyanis *diamagnetikus* lévén, *negatív vertikális rendellenességet* ad, ellentétben a *paramagnetikus* testek okozta *pozitív vertikális* rendellenességgel. A sötetek mágnesezése azonban olyan kiesény, hogy a felszínhez egész közel fekvő sötetek mágneses hatása sem haladja meg a  $-20 \gamma$ -át. A *németországi sötetek* felett észleltek ugyan  $-100 \gamma$  vertikális rendellenességet is, azonban a *mexikói öböl partján levő sódómok* mágneses hatása alig éri el a fent megadott értéket. Nyilvánvalóan ilyen kis értékű rendellenességből biztos következtetést vonni sötet jelenlétére nem igen lehet. A földmágneses elemek mérésére szolgáló műszerek tökéletesítésével nagyban kezdtek sódómok kutatását földmágneses rendellenességek alapján, azonban csakhamar belátták a módszer alkalmazásának nagy bizonytalanságát és ezért ilyen irányú földmágneses méréseket ma már nem igen végeznek.

A mindjobban elterjedő *elektromos módszer* sódómok kutatásában eddig nagy szerepet nem játszott. A módszer lényege abban áll, hogy a különböző geológiai alakulatok *elektromos vezetőképessége* különböző és továbbá azon a tapasztalati tényen, hogy egy es ugyanazon geológiai alakulat meglepően állandó vezetőképességet mutat rétegződése mentén, úgy hogy az alakulatot hasonlóknak lehet venni az úgynevezett *elektromos felületével*, azaz egy olyan felülettel, amely mentén az elektromos vezetőképesség állandó.

Az elektromos módszer alkalmazása többféleképp történhetik. Ma különösen kettőt használnak: az egyik a *Sch l u m b e r g e r*-féle, amelynél a földbe vezetett elektromos áram eloszlását vizsgálják azáltal, hogy a föld felszínén *equipotenciális görbéket* határoznak meg és e görberendszerekben mutatkozó szabálytalanságokból következtetnek a földalatti rétegek vezetőképességében előforduló változásokra és e változásokból a rétegek eloszlására. A másik módszer a *S u n d b e r g*-féle, amelynél a föld felszínén végigfektetett vezetőben váltakozó áram halad, amely áramot indukál a föld felszíne alatti vezető rétegekben. E másodlagos áram által a felszínen létesített *elektromágneses mező* megváltoztatja az elsődleges áram által létesített elektromágneses mezőt a földalatti réte-

gek vezetőképessége szerint. Az elektromágneses mező irányának, erősségének és fázisának megváltozásából következtethetünk egy vagy több *elektromos felület jelenlétére és mélységére*. Az így nyert mélységi adatokból azután egy vagy több *elektromos felület rétegvonalas térképét* készíthetjük el, amelyek oly mértékben fogják vissza tükrözni a valódi geológiai alakulatok alakját, amennyire ezen geológiai alakulatok elektromos felületeikkel *konformak*.

Bár e módszer mindjobban fejlődik és jelentős gyakorlati eredményeket is érnek el vele, a sódóмок kutatásában kezdetben nem volt nagy szerepe, mivel akkor még nagyobb mélységre nem tudván e módszerrel lehatolni, mélyebben fekvő sótesteket nem is tudott kimutatni, a felszínhez közel fekvők pedig már mind ismertek voltak. Nem nagy mélységben fekvő, de már ismert sódóмокokon végzett elektromos próbamérések azonban szép eredményeket adtak.

Néhány éve különösen *Németországban* sótestek kutatására használják a *gravimétereket* is, amelyekkel nem a nehézségeőnek változásait, hanem közvetlenül a nehézségeő rendellenességeit mérik. Bár e *graviméter mérések* kivitele teljesen elűit a torziós inga mérésektől, az eredmények magyarázata egészen hasonló mindkét módszernél.

## PROSPECTING SALTDOMES WITH GEOPHYSICAL METHODS.

By: *Eugene Fekete*.

*Geophysical methods* for prospecting salt domes were first used in *Texas and Louisiana* as early as 1923 applying the *Eötvös torsion balance* and the *refraction seismic method*. The gravity survey followed the method Eötvös used in his fieldwork while the interpretation of the torsion balance results was made according Dr. Böckh's theory, i. e. a *gravity minimum* will appear above an uplift when the core of the uplift is rocksalt and a *gravity maximum* will be obtained above such uplifts the core of which is heavier than the overlying formations.

The results of torsion balance surveys made in Germany above known salt domes proved this theory but in Texas it was soon found that gravity maximum will appear above salt domes lying close to the surface if a *heavy caprock* is present. The difference between the gravity maxima indicating salt domes with caprock or uplifts is that in the first case the gradients of radial distribution change their direction outside and far from the dome

while gradients above uplifts without salt always point to the center of the uplift.

Figure 1. shows a gravity maximum above a known salt dome in Texas and Figure 2. the profiles of the same dome. The gravity effects of the profiles were calculated (the curves) and compared with the observed gravity anomalies (the dots). Altering the shape and masses of the dome until a satisfactory correspondence between the observed and calculated gravity values is obtained, it is possible from the *gravity results* to determine *the form and depth of the salt dome*. This is important also from a practical point of view, because the presence of a salt dome in Texas and Louisiana is always connected with occurrence of oil, gas and perhaps of other valuable minerals (sulphur). The accumulation of oil is mostly found in the sedimentary beds on the flank of the salt domes, therefore it is of outmost importance to determine as accurately as possible the exact position of the flank.

There is a salt dome in Texas the gravity effect of which in spite of a caprock shows a *gravity minimum* as given in Figure 3. In such cases the positive gravity effect of the caprock cannot compensate the large negative gravity effect of the salt mass.

In Figure 4. also a *gravity minimum* can be seen obtained above a salt dome with *thick caprock* but this caprock consists mostly of sulphur of small specific gravity and therefore the negative gravity effect of the salt mass is predominant.

In Texas between 1923 and 1929 most of the salt domes lying close to the surface were discovered by applying geophysical methods. Then the search was continued for the *deep lying salt masses*. The *gravity effect* of such domes appears always as a *minimum* as shown in Figure 5. There is no exception from this experience, although these gravity minima are mostly of irregular shape. Furthermore the apex of such gravity minimum very seldom corresponds exactly to the actual axis of the dome partly on account of some regional effect, partly because of the asymmetric form of the salt mass.

In case of such *deep lying* salt domes the oil occurs mostly in the *uplifted sedimentary beds* just above the apex of the dome, the exact determination of which can be hardly done by the aid of the torsion balance. For this purpose the *reflexion seismic method* is generally applied.

The *seismic method* is based on the experience that the seismic waves *originated by explosions* have different velocities in the different formations. Spreading out from the shot point in all direction the seismic waves are *refracted* and, or *reflected* from a contact surface of two beds if they have *different velocities* for the seismic waves. In Figure 6. there are shown the seismic waves propagated in two beds with velocities  $V_1$  and  $V_2$  respectively.

In *salt* the velocity of seismic waves is considerably *higher* than in the overlying sediments, therefore there is a *distinct break* in the time-distance graph on places where the waves are *refracted* by the salt. Determining such points around the saltmass it is possible to contour on the surface a salt dome lying close to the surface. This is the *refraction seismic method* with the aid of which many salt domes were discovered in Texas and Louisiana. Deep lying salt domes can be detected by refraction shooting only if the *shot distance* is very long and a *great amount of explosives* are used which is — however — not *economical*.

The *reflection seismic method* uses the reflected seismic waves only (as shown in Figur 7). From the time elapsed from the shot instant to the arrival of the reflected waves to the *pick ups* (*geophones*) the *depth* of the *reflecting horizon* can be calculated, provided that an average velocity for the seismic waves could be obtained. If more than one pick up is available then the *dip* of the *reflecting horizon* can also be determined from the small *time differences* found in the arrival of the seismic waves to the different pick ups. The *reflexion seismic method* is widely used to day and a great number of deep lying salt masses were discovered with the aid of this method.

*Magnetic surveys* i. e. the determination of *magnetic anomalies* superposed on the normal magnetic field of the earth were also tried to find salt domes because in some cases small magnetic anomalies were found above salt masses. However the determination of these anomalies is uncertain and therefore the magnetic method is rarely used today for prospecting salt domes.

There are various *electric methods* with the aid of which the distribution of subsurface masses can be delineated. These methods are based on that the *electric resistivity* of the different geological formations *varies*, therefore if electric current is induced directly into the subsurface layers, from the alterations in the electromagnetic field caused by the induced current and measured on the surface conclusions can be drawn as to the *shape and location of the different formations*. Two different electric methods are mostly used today, those invented by *Schlumberger* and by *Sundberg* respectively. In the discoveries of salt domes, however, the electric methods do not take such a prominent part as the torsion balance and the seismic methods.

The *newest geophysical instrument* used in the recent prospectings, especially in Germany, is the so called *gravimeter*. The determination of gravity with the aid of this instrument differs from the torsion balance survey, but the interpretation of the results is the very same in both methods.

---