

Modern szempontok a gravitációs mérésekben, műszerekben és feldolgozásban, különös tekintettel a hazai helyzetre*

Összeállította: Gravitációs Munkaközösség**

A tanulmány összefoglalja a gravitációs kutatások korszerű problémáit mind az általános, mind az alkalmazott geofizika területén és röviden érinti a gravitációs alap kutatások időszerű feladatait is. Kiemeli a magyarországi gravitációs kutatások különleges feladatait. A mérések feldolgozásával kapcsolatban a nagy teljesítményű számítógépek igénybevételének lehetőségeit tárgyalja. Megvizsgálja a gravitációs felmérés jelenlegi helyzetét magyarországi és világviszonylatban. Végül rámutat a gravitációs műszerfejlesztés feladataira.

В работе дается сводка о современных проблемах гравитационных исследований как в области общей, так и прикладной геофизики и коротко излагаются актуальные задачи научно-исследовательских работ, связанных с изучением поля силы тяжести. Подчеркиваются особенности задач гравитационных исследований в Венгрии. В связи с обработкой получаемых материалов рассматриваются возможности применения высокопроизводительных счетно-решающих машин. Обсуждается вопрос о гравиметрической изученности территории страны. В заключении отмечаются задачи, стоящие перед гравиметрическим приборостроением.

Die Abhandlung fasst die zeitgemässen Probleme der Schwereforschungen zusammen, sowohl auf dem Gebiete der allgemeinen, als auch der angewandten Geophysik und weist auch auf die Aufgaben der grundlegenden Gravitationsforschungen hin. Es werden die besonderen Aufgaben der Schwereforschungen in Ungarn hervorgehoben. Im Zusammenhang mit der Bearbeitung der Messergebnisse wird die Möglichkeit der Anwendung der elektronischen Rechenapparate erörtert. Es wird der jetzige Stand der Schweregemessungen sowohl in Ungarn, als auch in der ganzen Welt behandelt. Zuletzt wird die Frage der weiteren Entwicklung der Schweremessapparate besprochen.

A gravitációra vonatkozó mai komplex előadás rövid áttekintést kíván nyújtani a gravitációs kutatások és kutatási eredmények jelenlegi állásáról, azokról a problémákról, amelyek a jövőben megoldásra várnak. E kérdés-komplexum keretében kívánatos röviden érinteni a kapcsolatos elvi fizikai kérdéseket is, melyek szoros értelemben véve nem geofizikai problémák, bár szoros kapcsolatban vannak azokkal.

Komplex előadásunk négy főrésze tagolódik:

- I. gravitációs alap kutatások, beleértve az időbeli változásokat;
- II. a nehézségi erőtér és a kéregkutatások, mérési eljárások és feldolgozási módszerek;
- III. gravitációs felmérés világviszonylatban és hazánkban;
- IV. gravitációs műszerfejlesztés.

* Magyar Geofizikusok Egyesületében 1963. április 25-én megtartott előadás.

** A munkaközösség tagjai: dr. Barta György, dr. Facsnay László, dr. Oszlaczky Szilárd, Pintér Anna, dr. Renner János, dr. Szénásné Aczél Etelka, Szilárd József és Tóth Géza.

A nehézségi gyorsulás abszolút mérése régi problémája a geofizikának és a geodéziának. Hazánkban a múlt század végén Gruber Lajos végzett ilyen méréseket. Jól ismertek századunk első évtizedében Kühnen és Furtwängler mérései Potsdamban. E mérések eredménye szolgál ma is az ún. potsdami rendszer alapjául. Azóta különböző országokban végeztek abszolút méréseket részben reverziós ingával, részben ejtési kísérletekkel. Az újabb relatív összekötő mérések azt sejtetik, hogy az 1906. évi potsdami abszolút meghatározás értéke kb. 10–12 mgallal nagyobb az utóbbi időben különböző helyeken történt abszolút mérésekből levezetett értéknél. Ezzel a kérdéssel a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió is foglalkozott, de eddig nem találta eléggé megalapozottnak a potsdami rendszer abszolút alapértékének módosítását.

A tömegvonzási együththató kísérleti meghatározása a 18. század végére nyúlik vissza. Egy évszázaddal később Eötvös Lóránd dolgozott ki igen érzékeny dinamikus eljárást e fontos fizikai mennyiség mérésére. Azóta több kutató foglalkozott ezzel a kérdéssel, de mérésük pontossága alig haladta meg Eötvös méréseinek pontosságát. Kívánatos a tömegvonzási együththató újabb korszerű mérése, amit Magyarországon tervbe is vettünk.

A tömegvonzási együththatót eddig állandó fizikai mennyiségnek tekintették. Kb. két évtizeddel ezelőtt Dirac állított fel egy hipotézist, amelynek értelmében a tömegvonzási együththató geológiai mértékkel kifejezett időben lassan csökken. Gilbert ezt a feltevést összhangba hozta a relativitás elméletével s ilyen módon a fizikai szemlélet számára elfogadhatóvá tette. A Dirac–Gilbert-féle hipotézist Egyed László és Stegena Lajos a Föld kialakulására vonatkozó elmélet megalapozásában használta fel.

Elvi szempontból igen fontos a tömegvonzás és a tehetetlenség arányosságának kérdése, más szóval a tömegvonzás függetlensége az anyagi minőségtől. Az erre vonatkozó kísérleti vizsgálatok Newtonig nyúlnak vissza. Bessel is vizsgálta a különböző anyagú ingák lengésidejét. Eötvös behatóan foglalkozott ezzel a kérdéssel a múlt század végén és a jelen század első évtizedében. Igen pontos méréseinek eredményeképpen az anyagi minőségtől való függetlenséget $1/200\,000\,000$ pontossággal mutatta ki. E munkájával, munkatársaival Pekár Dezsővel és Fekete Jenővel együtt, 1908-ban a göttingeni egyetem Be-
necke-pályadíját nyerte el. A mérések pontosságát a 30-as években végzett mérésekben egy nagyságrenddel sikerült fokozni. Utóbbi években Dicke amerikai kutató a mérés pontosságát korszerű berendezéssel még tovább fokozta.

A gravitációs kutatásoknak nagy jelentősége van a Föld alakjának meghatározásában. A Föld alakját, a geoidot, mint a nehézségi erőterét vízfelületét definiálják. Az erre vonatkozó vizsgálatok kiindulópontja Stokes-nak több mint egy évszázaddal ezelőtt megállapított képlete, amely összefüggést állapít meg a nehézségi anomáliák és a geoid undulációi között. A geoidfelület finom részleteinek meghatározására az Eötvös-inga mérésekből származó görbületi adatok is felhasználhatók s erre Magyarországon történtek is vizsgálatok.

A Föld alakjának meghatározásához az asztrogeodéziai mérések is hozzátartoznak. E mérésekből a függővonalelhajlások összetevői adódnak, azokból pedig közvetlenül kiszámíthatók a geoidundulációk. A nehézség abban áll, hogy a csillagászati mérések a szélesség és hosszúság meghatározása céljából meglehetősen bonyolultak és hosszadalmasak, s ezért általában kevés ponton szokták ezeket a méréseket végrehajtani. Mindenesetre jó ellenőrzésül szolgál-

nak a Stokes-képlet alapján kiszámított geoidundulációk számára. A kérdés további megoldása, tehát a földalak meghatározási pontosságának növelése, megkívánja az egész Földre lehetőleg egyenletesen kiterjedő nehézségi mérések elvégzését, valamint az asztrogeodéziai mérési hálózat kiterjesztését és sűrítését.

A Föld alakjának meghatározásához fontos adatokat szolgáltatnak a műholdak megfigyelt pályaelemei. Különösen a lapultság értékére kaphatunk ilyen módon megbízható adatokat. A kapcsolat a nehézségi erőter és a műhold pályája között kézenfekvő, mivel a műhold mozgását az induló sebesség irányán és nagyságán kívül, elsősorban a nehézségi erőter határozza meg.

A mesterséges holdak pályájának megfigyelésénél a legfontosabb adatot a csomópontok, vagyis a műholdpálya és az egyenlítő metszéspontjának eltolódása szolgáltatja. A csomópont eltolódásából kiszámíthatók a nehézségi potenciál gömbfüggvényes sorfejtésében előforduló ún. tömegfüggvények s ezek közül is a legfontosabb, a másodfokú tömegfüggvény, amely a Föld lapultságával áll szoros kapcsolatban. Ilyen módon többen is meghatározták a lapultságot. A nyert adatok a Krasszovszkij-féle ellipszoid lapultságához állanak a legközelebb.

II. A LUNISZOLÁRIS GRAVITÁCIÓS VÁLTOZÁS

Ismeretes, hogy a Nap és Hold és esetleg egyéb bolygók is, mint pl. a Jupiter — távolsága a Földtől, valamint relatív helyzetük periodikusan változik. Ez a változás a Földön a nehézségierő periodikus ingadozásait okozza, amelyek lefolyása mind amplitudó, mind pedig fázisváltozás tekintetében eléggé bonyolult. Az ingadozás százalékosan nem nagy, hatása mégis feltűnő és az emberiség életébe mélyen belenyúló következményekben nyilvánul meg: gondoljunk csak a tengeri ár-apály jelenségre. Az ár-apály hatása a szilárd Földnél is érvényesül, de a következmények a víztől nagyban eltérő merevségi és rugalmassági adottságoknak megfelelően, másként alakulnak. Hogy a létrejövő változó feszültségek, rugalmas deformációk, hullámok komolyan számbaveendő tényezőt jelentenek Földünk szerkezeti viszonyainak tanulmányozásánál, azt a kutatók már régen sejtették. Az erre vonatkozó elméleti meggondolások mellett már a múlt században szerkesztettek műszereket az igen finom jelenség mérésére: így megszületett a horizontális inga (Hengler—Zöllner), amely a függővonal század-másodpercnyi elmozdulásainak regisztrálására alkalmas.

Gyakorlati igények ilyen irányban akkor merültek fel, amikor a nyersanyagkutató graviméteres felvételek pontossága annyira megnövekedett, hogy a század- vagy tizedmilligalokat kitevő luniszoláris hatás figyelembevétele vált szükségessé. A mérések ráirányították a figyelmet arra — az egyébként elméletileg már megvizsgált — kérdésre, hogy hogyan reagál a Föld szilárd kérge, valamint belseje az ár-apályt keltő erőkre s a jelenségek méréséből milyen következtetések vonhatók le a Föld belső szerkezetét illetően.

Hatalmas lökést jelentett a fejlődés számára ebben az irányban a Nemzetközi Geofizikai Év, amikor is az egész Földet átfogó mérő-kutató hálózat létesült a földár-apálymérések végzésére és az UGGI kebelében állandó bizottság (Comission des Marées Terrestres) alakult ilyen mérések és kutatások szervezésére.

A földár-apály adatok a földrengési megfigyelésekhez hasonló helyet töltenek be a földszerkezeti kutatásoknál. Ez a körülmény már önmagában is indokolja az egész Földre kiterjedő állandó földár-apálymérő állomáshálózat

létesítését és működésben tartását. Ezen túlmenően azonban közvetlen gyakorlati alkalmazási lehetőségek is adódnak regionális és lokális szerkezeti és tektonikai jelenségek megfigyelésével és tanulmányozásával kapcsolatban. A horizontális ingák, mint dőlésmérők alkalmazása részletvizsgálatokat tesz lehetővé – mint arra pl. Tomaschek vizsgálatai jó példát mutattak – a helyi kéregszerkezetre, a rétegek mozgására, dőlésük változásaira, ezeknek pl. az időjárási változásokkal, küszöbön álló földrengéseket megelőző feszültség felhalmozódásokkal, távoli földrengésekkel együtt járó kéregdőlés-változásokkal kapcsolatban. Ezek a szempontok nemcsak a világméretű jelenségek megfigyelésére alkalmas nemzetközi hálózat létesítését és fenntartását ajánlják, hanem helyi megfigyeléseket és esetleg kisebb helyi hálózaton végzett szimultán méréseket is. Érdekes és esetleg gyakorlatilag nagyfontosságú feladat lehet a nagyrobbantásokkal (atomrobbantásokkal) kapcsolatban fellépő gravitációs hullámzások megfigyelése, amelyekről legújabban indiai geofizikusok adtak hírt és amiből az ilyen robbantások detektálási módszere fejlődhetik ki.

A nehézségi erőter szekuláris változása

Dr. Barta Györgynek a földmágneses tér excentricitására és szekuláris változására vonatkozó vizsgálatai, valamint a Föld háromtengelyűségére vonatkozó geodéziai adatok arra a feltevésre vezettek, hogy a Föld belsejében nagyméretű tömegexcentricitás lehetséges. A Föld belső magjának excentricitását és excentricitásának időbeli változását feltételezve szükségszerűen a gravitációs tér szekuláris változásának gondolatához jutunk.

A közelmúltban végzett számítások szerint a gravitációs tér nagyságának és irányának változása nagyságrendileg lehetségesnek látszik.

A gravitációs tér változásának igazolására megfelelő pontosságú régebbi adatok nem állnak rendelkezésünkre. A kérdés további vizsgálata szempontjából igen fontos a hatás kimutatására törekedni annál is inkább, mert méréseinket jelenleg már nagypontosságú graviméterekkel végezhetnénk. Az 1962 szeptemberi párisi kongresszus egy határozati javaslatot fogadott el. Ennek értelmében 3 nagypontosságú É – D irányú kalibrációs vonalat kell létesíteni és ezeket az egyenlítőnél és a vonalak végeinél K – Ny irányban graviméterrel össze kell kötni. A szekuláris változás kimutatása tehát lehetségessé válhat, ha ezeket az összekötő vonalakat kb. 10 – 15 év múlva újramérjük. Magyarországi viszonylatban célszerűnek látszik a Gravitációs Osztály 1963. évi tervjavaslatában részletesen leírt K – Ny irányú alapvonalak létesítése.

Mérési eljárások és feldolgozási módszerek

A gravitációs módszerek felhasználása a szénhidrogénkutatásban az Eöt-vös-inga mérésekkel indult meg, és folytatódik a korszerű graviméterekkel. Bár a gravitációs mérések túlnyomóan ma is a szénhidrogén-kutatás szolgálatában állanak, de emellett a gravitációs módszer eredményesen alkalmazható más hasznos ásványi kincseket rejtő földtani szerkezetek kutatására is. Ilyen feladatok megoldására igen hasznosak a kis állomásokkal végzett mikromérések, amiket némely esetben már mi is alkalmaztunk; de a módszer kifejlesztése érdekében még további tapasztalatokra van szükség.

A kutatási feladatok sokrétűsége és a mindinkább előtérbe került gazdaságosság kérdése miatt a szokásos mérési és kiértékelési eljárások már nem vol-

tak kielégítőek. A Föld alakjának meghatározását célzó vizsgálatok, más oldalon pedig a földtani szerkezetek részleteinek kimutatására szolgáló mérések követelményeinek megfelelő műszerek új típusai jelentek meg. Ha figyelemmel kísérjük az elmúlt évek gravitációs irodalmát, tapasztalhatjuk, hogy a mérések kiértékelési eljárásairól már-már szinte áttekinthetetlen anyag áll rendelkezésre. Ebből a körülményből is a gravitációs mérési tevékenység nagymértékű megélénkülését állapíthatjuk meg.

Ha az utóbbi esztendőben kialakult mérési és kiértékelési eljárások mai helyzetét áttekintjük és azt keressük, hogy milyen irányban kell fejleszteni a gravitációs mérések hatékonyságát, akkor elsősorban a nyersanyagkutatás területén felmerülő problémákat, valamint a gravitációs regionális téreloszlás és a kéregszerkezet közötti kapcsolatokat kell vizsgálnunk.

A gravitációs mérési eljárások közül az Eötvös-inga a gradiens és görbületi értékeket adja meg, a graviméterekkel mérhető nehézségkülönbségből pedig a Bouguer vagy más feldolgozás szerinti anomáliák származnak. A gyorsan végrehajtható graviméter mérések mellett az Eötvös-inga továbbra is hatékony eszköze a gravimetriának. Speciális feladatok megoldása esetén, amikor gravitációs intenzitásbeli különbségekből szerkezeti finomságokra nem lehet következtetni, a gradiensek változásai még jól mérhetők. Így elsősorban törése szerkezetek kimutatására gondolunk.

A graviméterek pontossága századmilligal vagy néhány mikrogal, tehát nagyságrenddel jobb, mint amit az elvi okokból alkalmazandó korrekció számbavételével biztosítani lehet. Ezért törekedni kell arra, hogy a korrekciókat a mérési feladatnak megfelelően finomítsuk. A graviméter mérések kiértékelésénél problematikus a Bouguer korrekcióban szereplő átlagsűrűség és a vonatkozó szint megválasztása. Az átlagsűrűség megválasztására, illetve a változó sűrűség helyről helyre való meghatározására több eljárás ismeretes. A Bouguer korrekció számítása a felszíni kőzetek alapján meghatározott sűrűségeknek figyelembevételével nem járható út. A mérésekből visszaszámított változó sűrűség alkalmazása sem mindig vezet megbízható Bouguer anomáliákhoz. Így alkalmasabbnak látszik azonos átlagsűrűség használata nagyobb területen is, különösen kis tagoltságú terepen. A kérdést azonban nem tekinthetjük lezártnak: a változó sűrűségű Bouguer anomáliák számítására további tanulmányok lennének kívánatosak. Új módszernek ígérkezik a lokális gravitációs anomáliák és a topográfia közötti korreláció minimalizálása a legkisebb négyzetek elve alapján. Mivel a potenciál magasabb deriváltjaiban nemcsak az elfedett szerkezeti részletek emelkednek ki, hanem a Bouguer anomáliák esetleges hibái is, előfordulhat az, hogy a helytelenül választott sűrűségértékek miatt olyan lokális anomáliák jönnek elő, amelyek nem a helyi szerkezetnek, hanem a felszíni topográfia hullámzásának felelnek meg. A sűrűség megválasztásának, esetleg helyről helyre való változtatásának problémáját könnyíti a vonatkozási szint alkalmas eltolása, vagy az ún. segédfelületre való redukálás. A lyukgraviméteres sűrűség meghatározására még nem támaszkodhatunk, ezért az eddig ismert módszerek helyes alkalmazási lehetőségeit kell kutatni, ill. továbbfejleszteni.

Az említett korrelációs módszer alkalmasnak látszik arra, hogy a nagyteljesítményű számológépek segítségével a különböző sűrűséggel variált Bouguer anomáliákat kielégítő módon és gyorsan számolhassuk. A gépesítés kérdéséről a későbbiekben még szólnunk.

A topografikus korrekció számításánál főként a hosszadalmas kiolvasási

munka csökkentése a cél. Munkatársaink saját kezdeményezéséből vizsgálták ezt a kérdést is és a gyakorlatban máris jelentős időmegtakarítást érnek el a távolabbi, kis hatást adó zónákra előre elkészített izoredukciós értékekkel. Az újabb szakismertetések hasonló egyszerűsítésről számolnak be.

A pontos mérési anyag és gondosan számolt Bouguer anomália-térkép az egyik fontos előfeltétele a gravitációs méréseken alapuló további analízisnek és földtani értelmezésnek.

A lokális szerkezeteket jelző anomáliák elkülönítésére különböző módszerek ismeretesek. Az egyik gyakran alkalmazott eljárás a Bouguer anomáliák szétválasztása egy regionális és egy lokális részre. A regionális tér meghatározásának egyik új módszere másodfokú vagy harmadfokú polinommal közelíti meg a regionális menetet. Ennek számítása aránylag gyors, ha a mérési terület beilleszthető egy olyan koordináta-rendszerbe, amelyre a polinom koefficienseinek számításához szükséges inverzmatrix értékek előre adottak. A lokális anomáliák számítása azonban hosszadalmas művelet, ezért e módszer elektronikus gépi számítására már megtettük az előkészületeket.

A regionális tér meghatározása alapján véve formális eljárás. Nem biztos, hogy létező regionális ható hatását tükrözi. Ezért a maradék anomáliák is inkább kvalitatív jellegűek. Természetesen más módszerek egybevetése, eléggé ismert földtani felépítés mellett megállapítható az is, hogy a maradék anomáliák milyen mértékben használhatók a lokális szerkezetek mélységének, kiterjedésének kiszámítására. Ilyen esetben hozzávetőleges mélységmeghatározás is lehetséges.

Eddig keveset foglalkoztunk az ilyen módszerek felhasználásával. Újabban néhány földtanilag jól ismert területen kísérleti számítást végeztünk, biztató eredménnyel. Javasoljuk ennek a kiértékelésnek további vizsgálatát, különböző alakzatokra, földtanilag ismert területeken. A szakfolyóiratok ui. sokat foglalkoznak újabb és újabb gyors módszerek elvi ismertetésével, de kevés gyakorlati példát közölnek.

A gravitációs méréseknek természetesen nem lehet célja mindenáron pontos mélységmeghatározásokra törekedni, a módszerek átgondolt alkalmazása azonban a további kutatásokhoz értékes adatokat szolgáltathat. Ha tekintetbe vesszük a mérés olcsó voltát, a kiértékelés gyorsaságát, beláthatjuk, hogy e kérdéssel érdemes foglalkozni.

A magasabb deriváltak és az analitikus lefelé folytatás módszerei elsősorban a Bouguer anomáliák részleteinek felbontására alkalmasak.

A magasabb deriváltak módszere a legobjektívebb eljárás a lokális anomáliák kimutatására. E módszer sajátosságairól sok analízis, hasznosságáról sok gyakorlati értékezés ismeretes. Ezzel szemben az analitikus lefelé folytatás módszerének gyakorlati alkalmazásáról még nem sok ismeretünk van. Ennek valószínűleg az az oka, hogy a magasabb deriváltak kiértékeléséhez képest a számítások nehezebbek, lassúbbak. A Geofizikai Intézet gravitációs osztályán már történtek kísérletek Malovicsko által ismertetett módszerek gyakorlati alkalmazására. A kiértékelés egyszerűsítését szolgálja a Constantinescu-Botezatu módszer, melynek nagy előnye, hogy az eddigi 9 körös kiolvasási skéma 2 körön kell csak a kiolvasást végrehajtani, s a kiolvasott értékek közvetlenül felhasználhatók Haalck vagy Henderson és Zeitz formulájával a nehézségi erő második deriváltjának számítására. A gravitációs osztályon megtörténtek az előkészítő munkálatok e módszer gépi úton történő alkal-

mazására. Érdekes lenne továbbá összevetni a magasabbrendű polinomokkal számított regionális hatást az analitikus felfelé folytatás eredményével.

A gravitációs mérések helyes interpretációjánál hasznos a mágneses anomáliákkal való egyeztetés. Különösen fontos a két módszer egybevetése, ha az a feltételezésünk, hogy a gravitációs anomáliák nem szerkezeti formák indikációi, hanem az alaphegység litológiai változásának eredményei. Eötvös már 1907-ben kifejtette jólismert formuláit, amelyekben megadja a mágneses tér komponensei és az Eötvös-ingával mérhető mennyiségek kapcsolatát. Eötvös tételéből kiindulva kidolgoztak olyan eljárásokat is, amelyek alkalmasak a felvetett problémák további vizsgálatára. Javasoljuk ezek elméleti, gyakorlati vizsgálatát, továbbfejlesztését.

A gravitációs mérések fejlődő tendenciája nemcsak a nyersanyagkutatás területén jelentkezik. A kéregkutatás napjaink egyik legérdekesebb, időszerű kérdése. Ezen a kutatási területen a szeizmika hozhatja a legmegfoghatóbb eredményeket, de összefüggés mutatható ki a gravitációs anomáliák és a kéregszerkezet viszonyában is. Hazánk területén is folynak szeizmikus kéregszerkezeti vizsgálatok, ezzel párhuzamosan más módszerek is bevonhatók a kutatásba. Az országos gravitációs felvételek felhasználásával is kísérleteket tettünk annak megvizsgálására, hogy a gravitációs anomáliák kialakulásában milyen szerepe van a hazai kéregszerkezeteknek.

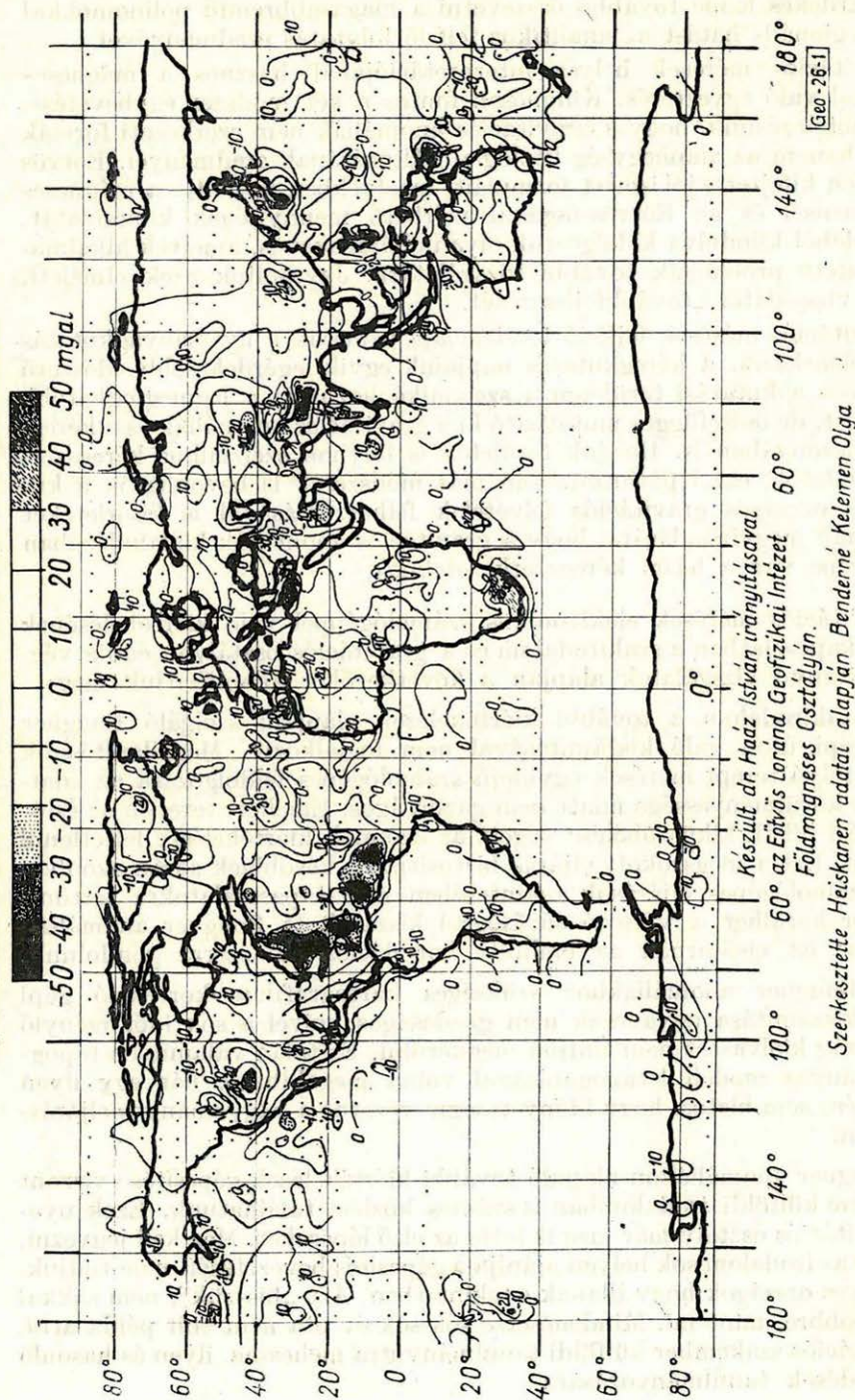
A gravitációs mérések elektronikus számológéppel való kiértékelésének kérdésével kapcsolatban a szakirodalom és a gravitációs osztályon eddig végzett ilyen irányú vizsgálatok alapján a következőket állapíthatjuk meg:

1. A szakirodalom a további kiértékelések alapjául szolgáló Bouguer anomália gépi úton való kiszámításával nem foglalkozik. Megállapításunk szerint is a folyó terepi mérések egyidejű számológépes feldolgozása az adat-szolgáltatás körülményessége miatt nem gazdaságos. Emellett terepen az esetleges észlelési hibák kiküszöbölése végett az azonnali kiértékelésre feltétlenül szükség van. Ezt a megszokott eljárás biztosítja. A későbbiek során azonban — ha a számológépes eljárások tekintetében már tapasztalatokra tettünk szert — sor kerülhet a változó sűrűséggel kiszámított Bouguer anomáliák előállítására; itt elsősorban az említett korrelációs módszerre gondolunk.

2. A Bouguer anomáliákhoz szükséges kartografikus korrekció gépi úton való kiszámítása ugyancsak nem gazdaságos, mivel a sok időt igénylő átlagmagasság kiolvasást nem tudjuk megkerülni. Ez talán valamilyen topográfiai arányos modell letapogatásával volna megoldható, bár egy ilyen modell építése sem biztos, hogy időnyereségre vezetne a hagyományos eljárással szemben.

3. Bouguer anomáliákon alapuló további kiértékelések gépesítése viszont célszerű. Erre külföldi irodalomban is számos közlést találhatunk. Ezek nyomán a gravitációs osztály már meg is tette az első lépéseket. Meg kell jegyezni, hogy habár az irodalom sok helyen ajánlja a gépesítés bevezetését, nem tudjuk, hogy az egyes országok hogy állanak e tekintetben. Azt „hisszük”, nem sokkal tartanak előbbre, mint mi. Mindenesetre sok-sok év óta nem volt példa arra, hogy gravitációs szakember külföldi tanulmányútra mehessen, ilyen és hasonló jellegű kérdések tanulmányozására.

Afree-air anomáliák eloszlása a földön Heiskanen szerint (1959)



Geo-26-1

Szerkesztette Heiskanen adatai alapján Benderné Kelemen Olga

1. ábra

A FREE-AIR ANOMÁLIÁK ELOSZLÁSA A FÖLDÖN. HEISKANEN 1959-ben számított adatai alapján az anomáliatérképet Benderné Kelemen Olga szerkesztette a M. All. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Földmágneses Osztályán. Bemutatásra került a gravitációs munkaközösség 1963. ápr. 25-én megtartott előadása keretében a Magyar Geofizikusok Egyesületében

A szárazföldek gravitációs mérései a múlt században a relatív ingák tökéletesítésével indultak meg, geodéziai vizsgálatok céljára. E módszer lassúsága miatt részletesebb mérésekre csak az Eötvös-inga elterjedésével, külföldön a húszas évektől kezdve került sor, majd egyre növekvő intenzitással a harmincas évek derekától, a mobilis és érzékeny graviméterek megszerkesztésétől kezdve. E részletesebb mérések célja többnyire gyakorlati, szerkezetkutatás volt, elsősorban szénhidrogénfeltárás céljából. Mindamellet, tisztán kéregkutatás és geodéziai vizsgálatok céljából olyan területek is sorra kerültek, amelyeken az ásványi nyersanyagkutatás nem igényelt részletesebb méréseket.

A tengerek területén a húszas években Vening-Meinesz indított el búvárhajón részletesebb méréseket.

A II. világháború idején L. Tanni már 13 000 inga- és 1000 graviméter állomás adatát használta fel geoidunduláció számításaihoz. $1^\circ \times 1^\circ$ hálózatban 4380 közepes anomáliát tudott felhasználni, háromszor annyit, mint Hirvonen 14 évvel megelőzően.

Azóta óriási módon növekszik a felvételi anyag: a partok közelében gyakorlati szénhidrogénkutatás céljából a tengerfenékre leeresztett graviméterekkel történik a részletes kutatás. A kéregkutatás és geodézia céljára felszíni hajókon és repülőgépeken végeznek méréseket.

Jelenleg, Üotila közlése szerint, 1961-ben már Heiskanen és Woollard adatgyűjtésének eredményeképpen IBM kártyákon 170 000 állomás adata állt rendelkezésre.

Az 1. ábra az összegyűjtött anyag területi eloszlását szemlélteti. Ebben repülőgépen felvett adatok nem szerepelnek. Látható, hogy még nagyon sok $1^\circ \times 1^\circ$ négyzög van, ahol egyáltalán nem történt mérés. A $10^\circ \times 10^\circ$ -os területrészeknek átlagosan 30,5%-án vannak mérések.

A 2. ábra az északi és déli félgömb befedettségét mutatja be, fekete kitöltött körrel jelezve azokat a területeket, ahol legalább egy nehézségi mérés rendelkezésre áll.

Látható, hogy legrosszabb a helyzet a Csendes-óceánon, ahol $10^\circ \times 10^\circ$ -os területrészek közül 50 üres, de van összesen még 40 üres területrész a D-i Atlanti-óceán és a D-i Indiai-óceán területén is.

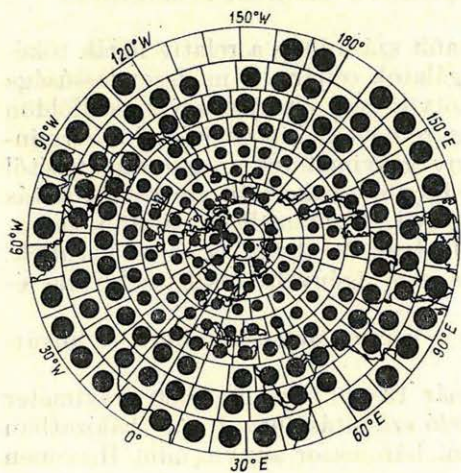
Ilyen hiányok becsléssel nehezen pótolhatók és becslések az undulációk és függőleges elhajlások számításában igen nagy hibákat okozhatnak.

Magyarországon a gravitációs felmértség jelenlegi állását a 3. ábrán mutatjuk be. Az ország területének nagy részén történtek részletes mérések részben graviméterrel, részben Eötvös-ingával, de még jelentős területek felmeretlenek. A részletesen felmért területek mérési anyagának csak egyrésze jutott eddig egységes feldolgozásra (4. ábra).

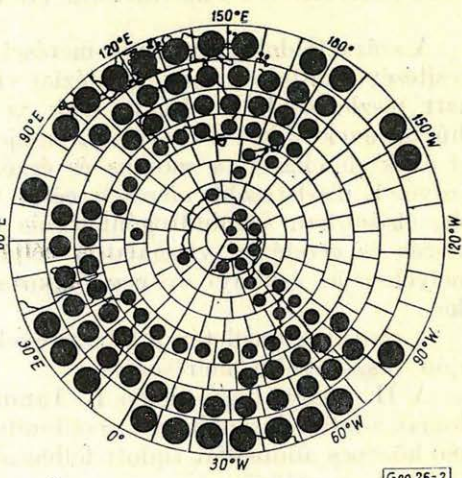
IV. GRAVITÁCIÓS MŰSZERFEJLESZTÉS

A gravitációs tér adatainak méréséhez szükséges műszerek beszerzésére általában két lehetőség áll fenn: vagy magunk állítjuk elő a kutatás céljára szolgáló mérőműszereket, vagy máshonnan szerezzük be azokat.

Kezdeti időben a nehézségi erő mérését szolgáló műszereket a kutatók a felmerült igények szerint maguk állították elő és egy következő példány a



Északi földgömb



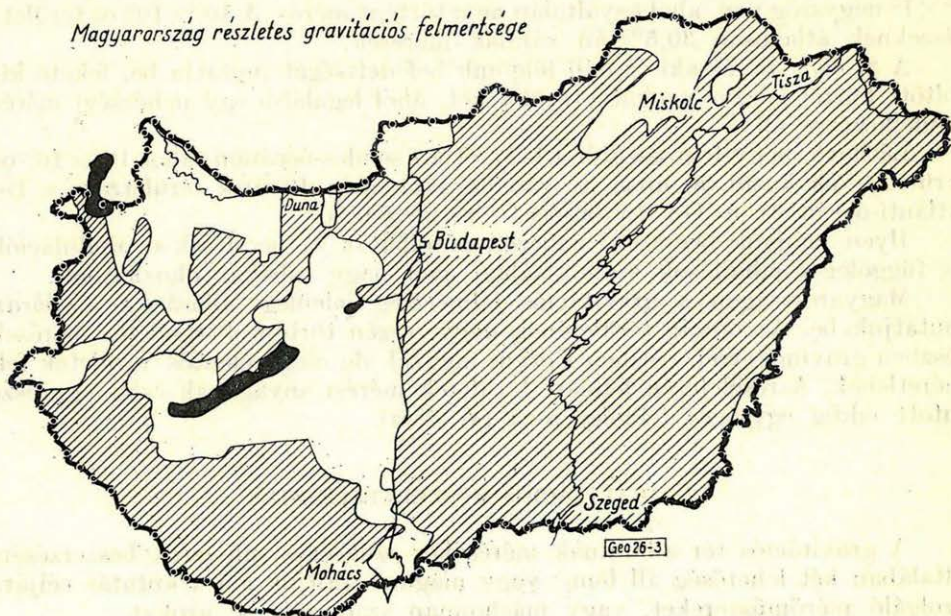
Déli földgömb

Geo 26-2

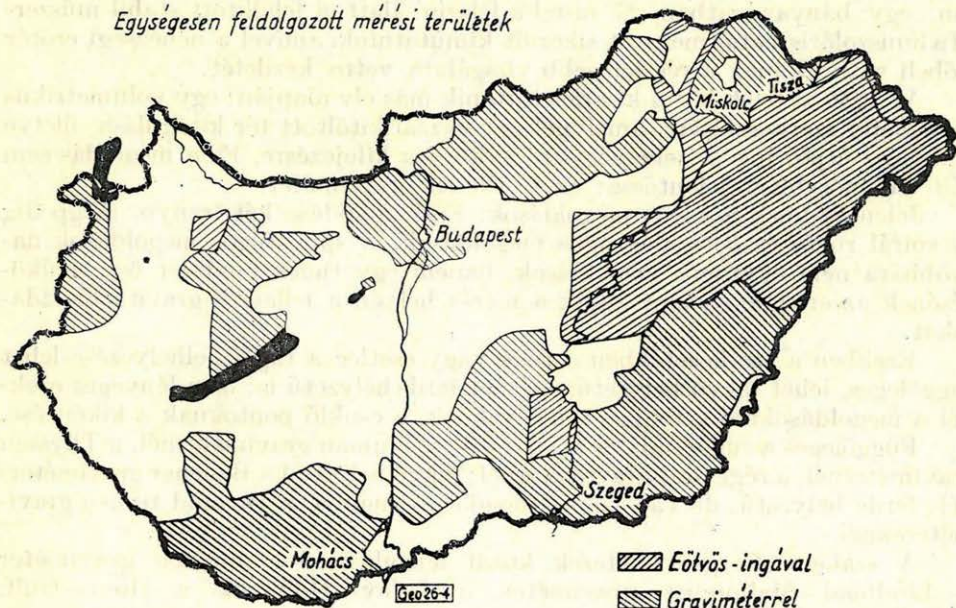
● Egy vagy több gravitációs észlelés

2. ábra

Magyarország részletes gravitációs felmértése



3. ábra



4. ábra

megelőző megoldásnak már egy javított, fejlettebb változatává lett. Ez ma sincs másképp, mert csak akkor érdemes egy újabb műszert szerkeszteni, ha a megelőzőnél egy jobbat tudunk produkálni.

Egészen a XX. század fordulójáig a nehézségi erő mérését szolgáló műszerek abszolút „g” mérésre és ebből relatív méréssel tovább vezetett, más helyen érvényes „g” érték meghatározását voltak hivatva ellátni.

A múlt század végén Eötvös Loránd torziós ingájával egy olyan műszert szerkesztett, amellyel lehetővé vált a függőleges nehézségi erő változásait, a nehézségi erő gradienseinek a meghatározása útján vízszintes síkban megjeleníteni. De a messzebbmenő gyakorlatiasságra való törekvés hamarosan más megoldásokat keresett azoknak az eredményeknek az elérésére, amit az Eötvös-inga nyújtani képes és ebből a törekvésből származott egy hosszú sora a legkülönbözőbb graviméter megoldásoknak.

Anélkül, hogy szerkezeti vonatkozásban messzebb menő részletekbe bocsátkozni kívánnánk, felemlíthetjük, hogy sorrendben talán az első graviméter szerkesztési kísérletek közé tartozik Eötvös Loránd bifiláris graviméter szerkezete, amely azonban a laboratóriumi kísérleti eszköz jellegénél nem jutott tovább. Eötvös Loránd maga azt nem is ismertette soha. Eötvös halála után Pekár Dezső adott erről az eszközzel hírt, inkább csak azért, hogy ennek a kísérletnek a tényét regisztrálja.

A filáris graviméter típusra azonban más kutatók visszatértek; ismerjük W. Schweydar, G. Ising bifiláris és végül Tomaschek – Schaffernicht trifiláris graviméter megoldásait.

Előbbiek közül egyik sem jutott gyakorlati jelentőségre; az utóbbi, a Tomaschek – Schaffernicht-féle annyiban jelentős, hogy ezzel a Marburg – Lahn-

ban, egy bányavágatban, 27 m-rel a felszín alatt a felállított stabil műszerrel a luniszoláris hatás menetét sikerült kimutatniuk, amivel a nehézségi erőtér időbeli változásának a részletesebb vizsgálata vette kezdetét.

Az 1930-as évek körül kísérlet történik más elv alapján: egy volumetrikus graviméter szerkesztésére, amelynél egy gázzal kitöltött tér kitágulása, illetve szűkülése útján jut a nehézségi erő változása kifejezésre. Ez a megoldás sem vált különösebben jelentőssé: ez a Haalek graviméter.

Jelentősebbek a rugós megoldások. Ezek fejlődése két irányú, mégpedig *a)* spirál rugós és *b)* szalagrugós megoldások. A spirálrugós megoldások nagyobbára nem egyrugós megoldások, hanem egy rugós rendszer összeműködésének az eredményeként adják a mérés helyén a jellemző gravitációs adatokat.

Ezekben a szerkezetekben a rugó vagy esetleg a rugók elhelyezése lehet függőleges, lehet fekvő helyzetű, de lehet ferde helyzetű is; igen lényeges ezekenél a megoldásoknál a forgási tengelyeknek, a csukló pontoknak a kiképzése.

Függőleges a rugórendszer elhelyezése a Truman graviméternél, a Thyssen graviméternél, a régi Graf graviméternél; fekvő helyzetű a Boucher graviméternél; ferde helyzetű, de van benne függőleges rugó is, a Heiland típusú gravimétereknél.

A szalagrugós graviméterek közül felemlíthető a Boliden graviméter – Lindblad–Malmquist graviméter, a Lejay–Hollweck, a Hoyt–Gulf, a Molodjenszkij graviméter.

Nagyobb jelentőségre jutottak a kvarc graviméterek, amelyeknek egy korai típusa a G. Ising által szerkesztett graviméter. Ennél egy kvarc keretben kifeszített kvarc fonálra merőlegesen áll egy kiemelkedő kvarc tömeg. Ennek egy változata a Nörngaard graviméter, amelynél a billenő tömeg vízszintes helyzetben nyer elhelyezést és egy álló tükörrre vetül vissza a kilendülő tömeg okozta szögelfordulás; ennek egy további változata a Boulanger–Popov megoldás, amely különösképpen alkalmas nagy távolságra megmutatkozó nehézségi változások lemérésére.

És legvégül a Worden-típusú graviméterek említendőek fel, amelyek az utolsó 10–15 évben alakultak ki és kombinált kvarcrendszert képeznek, 0,01–0,02 mgal érzékenységuiek és a graviméter szerkezetek legfejlettebb típusát képviselik.

Ezeknek a gravimétereknek a variálásából származhatnak olyan megoldások, amelyek különleges gravimetriai mérési feladatok ellátását szolgálják. Ilyenek a tenger felszínén mozgó hajón végzendő mérésekre alkalmas graviméterek, továbbá a tengerfenékre lebecsátott graviméterek és a légi mérések ellátását szolgáló graviméterek.

Ezek különleges modern gravimetriai feladatok ellátására szerkesztett eszközök, amelyek jelen pillanatban a saját viszonyaink között inkább csak mint kuriózumok érdekelnek bennünket.

Megemlítendő még egy olyan graviméter megoldás is, amelyben két rendszer kerül egyidejűleg beépítésre, egy graviméter rendszer és egy aneroid rendszer, amely egyidejűleg a gravitációs adatot és a magassági adatot is hivatva volna nyújtani; ez a szovjet szerkesztésű vüszokograviméter, ami azonban még nem látszik véglegesen megoldottnak.

Ezek közül a felsorolt graviméter típusok közül a felmerülő igények szerint az érdeklődők, a szokásos kereskedelmi feltételek mellett, a számukra szükségessé megszerezhetik.

Ez a mód a gravitációs mérési feladatok kielégítésére alkalmasnak is látszik, mert egy műszer előállítása céljából ma már nem volna indokolt műszer-
szerkesztő laboratóriumot fenntartani.

Ha azonban műszerkutatással, mint feladattal kell foglalkoznunk, akkor arra alkalmas gazdasági és technikai feltételeket kell biztosítani és ehhez szükséges szakembereket: technológusokat, műszerészeket és fizikusokat kell bevonunk.

Hogy pillanatnyilag mi az érvényes szemlélet e tekintetben, az nem egészen nyilvánvaló előttünk. Nem tudhatjuk, hogy az elkövetkezendőkben milyen arányban kell műszerfejlesztéssel foglalkoznunk. Nem tudhatjuk, hogy a műszer-
szerkesztés számunkra kötelezettség lesz-e, vagy csak szándék, gondolat, kísérlet?

Vannak azonban tények, amelyekből kiindulóan lehetséges volna máris ezzel a feladatkörrel foglalkoznunk, de ehhez bizonyos rugalmasságra volna szükség és ez a tisztességes haszon érdekében esetleg némi kockázat vállalását is megkívánná. Egy előállításra kerülő műszer első példányát ugyanis a kereskedelem nem szívesen rendeli meg, mert esetleg nem tudja értékesíteni, külső megrendelő viszont azért nem rendeli meg, mert nem látja a portékát, amit a pénzéért kapni fog. Az így önmagába záródó körből nincs kiút, csak az származik belőle, hogy hozzá sem fogunk műszereink továbbfejlesztéséhez, mert senki nem kíván semmit kockáztatni.

Persze elképzelhető az is, hogy az ilyen kockázatot egy erre a célra kialakított fejlesztési alap viseli, és akkor megindulhat a műszer előállítása. De, hogy ilyen fejlesztési alap van-e és ha van, milyen költségek számolhatók el azon, azt nem tudjuk. Gondoljuk, hogy azért csak van.

Mindenesetre megállapítható, hogy az előzőkben vázolt fejlesztési törekvések iránya már jó ideje bizonytalanságban vész el. Nem látszik egyáltalán mi az, amire vállalkoznunk kell.

ÖSSZEFOGLALÁS

Beszámolóinkban igyekeztünk bemutatni a gravitáció témakörébe tartozó korszerű problémák állását és mintegy keresztmetszetét kívántuk adni ennek a kutatási ágak, a saját hazai viszonyokra való tekintettel, csatlakozva azokhoz a nemzetközi törekvésekhez, amelyek ma a földkerekség minden államában kialakultak.

Ha most már áttekintjük röviden a magyarországi gravitációs kutatás jelenlegi helyzetét, a következőket állapíthatjuk meg:

1933-ban indult meg Magyarországon az ipari célokat szolgáló rendszeres gravitációs kutatás, amely végezetül is a magyar olajipar kialakulásához jelentősen hozzájárult. 1948–49-ben az országon belül működő geofizikai egységek az eddig szerény, 8–10 fő létszámmal dolgozó Eötvös Loránd Geofizikai Intézetbe tömörültek és az akkor az – 1950-ben – kialakult fejlesztési tervnek megfelelően egy sokat ígérő, szép geofizikai kutatóintézet kibontakozásának körvonalait láttuk magunk előtt.

Új kutatómódszerek bevezetésére nyílt lehetőség. Új, modern műszerekkel bővült hiányos és elavult műszerparkunk, új emberek kerültek az Intézetbe, magukkal hozva korábbi működési területükön gyűjtött értékes tapasztalataikat. Minden reményünk megvolt ahhoz, hogy a külföldön száguldó irammal

fejlődő geofizika munkájához, a mi gazdasági lehetőségeink keretében, hasznosan tudunk hozzájárulni, és azt a tiszteletreméltó helyet, amelyet a kezdeti időkben eleink a geofizika területén szereztek, meg tudjuk védeni és arányos mértékben öregbíteni.

Jelenleg hazánkban a gravitációs kutatás úgyszólván kizárólag a Geofizikai Intézet gravitációs osztályának feladata. Máshol csak elszórtan foglalkoznak egyes kutatók gravitációs kutatással. A gravitációs osztály és laboratórium létszáma tegnap még 28 fő, ma ennél kevesebb, holnap még kevesebb. Ez a keret az olaj- és szénipar, ércbányászat, bauxit és egyéb színesásványok, általános földtan stb. részéről felmerülő igények kielégítésére, az országos gravitációs alaptérkép megfelelő ütemű szerkesztésére és gravitációs módszer- és műszerfejlesztésre nem elegendő. Nem is szólva azokról a bizonyos fokig kultúr-kötelezettségnek számító tudományos feladatokról, mint pl. a Föld alakjának vizsgálata, gravitációs regisztrálás, abszolút „g” mérése, hitelesítő alapvonal létesítése, összekötő mérések a szomszédos államokkal, amelyek a gravitációs szolgálat akció terébe tartoznak.

Az imént vázolt munkaerő-hiányból logikusan következik az, hogy az elmúlt években az ipari igények kielégítése elvonta a kutatókat az egyéb témáktól és ez a gravitációs módszerfejlesztés bizonyos fokú megrekedését okozta. Ebből sokan a gravitációs módszer elavultságára következtettek és hangot is adtak annak a nézetüknek, hogy a gravitációs osztály létszámát még ezenfelül is csökkenteni kell az egyéb módszerekkel foglalkozó osztályok javára. Enézet helytelenségét legjobban az a tény illusztrálja, hogy újabban maguk az ipari vállalatok igyekeznek ismét saját problémáik megoldására gravitációs kutatócsoportot felállítani.

A gravitáció nem elavult, ósdi kutatási ág, a gravitációs kutatás rendkívül izgalmas, modern problémák megfejtésére nyújt lehetőséget, de bizonyos nem kívánatos elfogultságot, mindenkinek, aki feléje közelít, félre kell tennie.

Felül kell vizsgálni, mi az, ami a gravitációt ilyen bizonytalanságba juttatta és ott, ahol szükséges, megfelelő eszközök felhasználásával a hibákat ki kell javítani.

Összefoglalva hazai vonatkozásban a gravitációs kutatások legfontosabb feladatait, ezek a következők:

1. Magyarország egész területére kiterjedő gravitációs térkép megszerkesztése. Ehhez szükséges a még fel nem mért területeken graviméter mérések végrehajtása. Szükséges továbbá a feldolgozás alatt álló mérési anyag mielőbbi folyamatos teljes feldolgozása, ehhez azonban még terepi mérések elvégzésére is szükség lesz.

2. Az ásványi nyersanyagkutatás érdekében korszerű mérési és feldolgozási eljárások, a magasabbrendű anomáliák kiértékelésének és különösen az analitikai folytatások módszerének alkalmazása s annak megvizsgálása, hogy hazai viszonyok között, milyen számológépes eljárások alkalmazhatók a cél előmozdítása érdekében.

3. Az ország területén ismert gravitációs anomáliák egybevetése más geofizikai eljárásokkal szerzett eredményekkel és mélyfúrásokból, vagy más módon nyert földtani adatokkal. A mutatkozó eltérések okának megvizsgálása. A kéregszerkezetre vonatkozó gravitációs vizsgálatok.

4. A Föld alakjára vonatkozó vizsgálatok gravitációs adatok alapján.

5. A nehézségi erőtér időbeli változásának folyamatos regisztrálása megfelelő helyen stabilan elhelyezett érzékeny graviméterrel és horizontális ingákkal. A regisztrált adatok folyamatos kiértékelése és az eredmények eljuttatása az illetékes nemzetközi központokhoz további feldolgozás céljaira.

6. A kéregmozgások vizsgálata horizontális ingákkal végzett megfigyelések alapján. Ebből a célból szükséges a horizontális ingaállomások hálózatának magyarországi kiépítése legalább 3–4 állomással.

7. További elméleti vizsgálatok a nehézségi erőtér évszázados változására és mérések tervezése a kérdés kísérleti megvizsgálása érdekében.

8. A korszerű gravitációs műszerek fejlesztésének kérdése. Annak megvizsgálása, hogy milyen gravitációs műszerek szerkesztésével, továbbfejlesztésével érdemes Magyarországon foglalkozni, mihez vannak meg a megfelelő adottságok és a felvevő piac. Mérlegelni kell, hogy milyen külföldi műszerek további behozatala kívánatos korszerű mérések elvégzése céljából, valamint a hazai műszer-szerkesztés elősegítése érdekében.

9. Végezetül, de nem utolsósorban egy olyan állandó szakgárda kialakítása, amely alkalmas ezeket a feladatokat a jövőben is a fejlődő tudományos igények szintjén ellátni és továbbfejleszteni.

A gravitációs osztály ne legyen átjáróház, ahonnan mindenki előbb-utóbb máshová érkezik meg, hanem legyen munkaterülete azoknak a kutatóknak, akik ezt a tudományágat továbbfejleszteni képesek és akarják is.