

J. RENNER

INVESTIGATIONS ON DEFLECTIONS OF THE VERTICAL

The deflections of the vertical are used mainly for two purposes: firstly to determine the shape of the actual geoid and secondly to get knowledge about the subsurface distribution of density.

The author formerly investigated the connection of the relative deflections of the vertical with the gravity anomalies on the territory of Hungary. The present paper treats the connection of the deflections of the vertical with the isostatic anomalies in the North-Carpathian region. The deflections of the vertical determined by astrogeodetic measurements are to be reduced by the topographic and isostatic compensation effect in order to get isostatic values. This reduction was carried out by aid of the tables and diagrams of F. W. Darling. Figure 1. shows as well the isogams of the isostatic anomalies, as the vectors representing the horizontal force of gravity, which is proportional to the deflection of the vertical. It is obvious, that the vectors representing the deflections of the vertical mostly are directed towards the isostatic maxima. This connection is evident in the southern part of Slovakia, in Northern-Hungary and in Southern Poland. Only a few exceptional deflections show toward an isostatic depression.

To have an idea about the disturbing subsurface mass some theoretical calculations were carried out. It was supposed a mass of 180 km length, 60 km width and 10 km thickness, the upper surface of the mass being 2 km deep beneath the surface of the earth with 0,3 density difference between the disturbing mass and its surroundings. The horizontal force due to this mass acting at a point on the surface which lies at a horizontal distance of 60 km from the centre of the mass, has the value of $36 \cdot 10^{-3}$ CGS units. This value has about the same magnitude, as the deflections of vertical observed in Slovakia.

There is another question treated by the author. The deflections of the vertical are evidently affected by the attraction of the visible masses as well in the vicinity of the respective astrogeodetic point, as at a greater distance from it. For studies of the geoid the influence of the farther topography must be held in the observed value, because the level surface of the geoid is affected by the visible masses too, but the effect of the next vicinity is not characteristic for the shape of the geoid and therefore the observed deflection of the vertical has to be freed from this effect.

Prof. A. Tarczy-Hornoch pointed out the importance of taking accurately in account the effect of the next vicinity to the astrogeodetic point.

Accordingly the author computed it basing on a levelling up to 125 m distance from the point. Figure 2. represents the contours in its vicinity, the computed topographic effect is for the components

$$U_x = -5,5 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}$$

$$U_y = -1,2 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}$$

proving that it is not at all negligible.

The author makes finally a remark on the application of the Stokes-formula. He computed the deflection of the vertical according to this formula for an astrogeodetic point in the middle part of Hungary, having used the isostatic anomalies of gravity within a circle of 140 km radius. There is a good agreement between the observed and the computed values and it is supposed, that they would still better agree, if the isostatic anomalies of farther zones had been considered too.

VIZSGÁLATOK A FÜGGŐVONALELHAJLÁSOK TERÉN

RENNER JÁNOS

A „Geofizikai Közlemények”-ben 1957-ben megjelent tanulmányomban [1] megvizsgáltam a Magyarországon asztrogeodéziai módszerrel mért regionális függővonalelhajlások, valamint a Faye-féle, a Bouguer-féle és az izosztikus gravitációs anomáliák kapcsolatát. E vizsgálatok eredménye szerint a legtöbb esetben az asztrogeodéziai úton meghatározott függővonalelhajlások a gravitációs anomáliáknak olyan maximumaival vannak kapcsolatban, amelyek mélyen fekvő, viszonylag nagy kiterjedésű eltakart hatóktól származnak.

A függővonalelhajlások tudvalevőleg két nagy probléma megoldását segítik elő: egyrészt fontos adatokat szolgáltatnak a geoid részletes meghatározásához, másrészt tájékozást nyújtanak a felszín alatt eltakart tömegeloszlásról.

I. Regionális függővonalelhajlások az Északnyugati Kárpátok vidékén

A függővonalelhajlások, a gravitációs anomáliák és az eltakart hatók kapcsolatát Magyarország határain kívül is megvizsgáltam, figyelembe véve a Szlovákia területén és Lengyelország déli részén az irodalomban megtalálható függővonalelhajlások adatait. A függővonalelhajlások adatainak összegyűjtésében elsősorban Helmut Wolfnak 1956-ban megjelent, a közép-európai geoidra vonatkozó munkáját [2], valamint Picknek 1955-ben megjelent tanulmányát [3] vettem alapul.

A függővonalelhajlásoknak a mérésekből származó nyers értékei közvetlenül nem alkalmasak annak megvizsgálására, hogy milyen összefüggés van a függővonalelhajlások és a földkéreg hegységszerkezeti viszonyai között. A függővonalelhajlások nyers értékei ui. a felszíni tagoltság hatását is magukban foglalják, ezért először a nyers értékek topografikus javítását kell elvégezni. Ezt a javítást a Darling-féle táblázatok alapján készült és a Hayford-féle zónáknak megfelelő diagram segítségével számítottam ki [4]. A diagram egyes mezőinek átlagos magasságát szintvonalas térkép alapján állapítottam meg. A diagram minden egyes mezőjének topografikus hatása a függővonalelhajlás megfelelő összetevőjére $0,03''$, ha az átlagmagasság 100 m és a közet-sűrűség egységesen 2,67.

A függővonalelhajlás északi összetevőjére vonatkozólag a kérdéses ponton átmenő kelet-nyugati vonaltól északra fekvő diagram mezők hatása pozitív, a délen fekvő mezők hatása negatív. Hasonlóképpen a függővonalelhajlás keleti összetevőjére nézve a kérdéses ponton

átmenő észak-déli vonaltól keletre fekvő mezők hatása pozitív, a nyugatra fekvő mezők hatása negatív. Mindkét esetben az egyes mezők hatásának algebrai összegét kell számítani. Ez a számítás olyan koordináta-rendszernek felel meg, amelynek pozitív tengelyei északra, ill. keletre irányulnak.

A Darling-féle diagram zónáiból a 2,2 km-től 162 km-ig terjedő 12 körgyűrűs zónát használtam fel a topografikus hatás számításában. Nagyobb távolságban a hatás rohamosan csökken, kisebb távolságra 2,2 km-ig nem állottak rendelkezésre megfelelő rétegvonalas térképek; a kis távolságban levő mezőkre azonban az északon és délen levő mezők átlagmagassága nem sokkal különbözik egymástól s így különbségük is csekély; ugyanez vonatkozik a keleten, ill. nyugaton fekvő mezők átlagmagasságára. Megemlítem, hogy a Lambert-féle diagramon mindegyik negyedkör négy nem egyenlő részre oszlik, hogy az azimutszögek szinuszai egyenes arányban növekedjenek. A topografikus hatás a feldolgozott területen, az Északnyugati-Kárpátok vidékén néhány szögmásodpercet tesz ki a függővonalelhajlás összetevőiben.

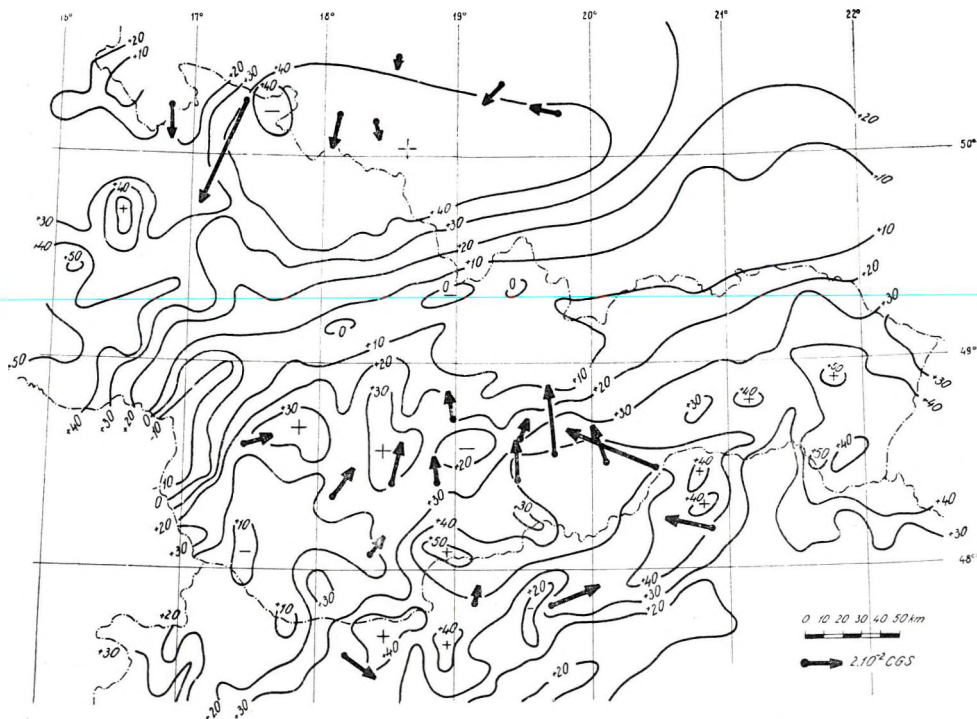
Különösen érdekes a függővonalelhajlások egybevetése az izosztatikus gravitációs anomáliákkal. Ehhez azonban szükséges, hogy a topografikus hatással már megjavított függővonalelhajlásokat az izosztatikus kompenzáló tömegek hatásával is megjavítsuk. A kompenzáció hatása kis távolságban csekély, nagyobb távolságban megközelíti a topografikus hatás nagyságrendjét. A kompenzáció hatása ellenkező előjelű, mint a topografikus hatás. Mindegyik körgyűrűs zónára megállapítható egy olyan tényező, amellyel a topografikus hatást megszorozva, a topografikus és a kompenzációs hatások algebrai összegét megkapjuk. Az előbbiekről szerint ez a tényező a kérdéses ponthoz közel fekvő zónákon az egységénél valamivel kisebb, majd a távolsággal erősen csökken és pl. 60 km távolságban a tényező 0,1 vagyis a kompenzáció hatása 0,9 részét teszi ki a topografikus hatásnak. E tényezőkre Hayford állított össze különböző kompenzációs mélységekre vonatkozó táblázatokat.

Ha a nyers függővonalelhajlásokból a topografia és a kompenzáció együttes hatását kivonjuk, akkor olyan értékeket kapunk, amelyek a függővonalelhajlásoknak az izosztatikus egyensúlytól való eltéréseit jellemzik s így a függővonalelhajlások izosztatikus anomáliáinak tekinthetők.

Az Északnyugati-Kárpátok vidékén Lengyelország és Csehszlovákia területén 18 pont függővonalelhajlási adatait dolgoztam fel. Az előbbieken tárgyalt módon kiszámítottam a topografikus és a kompenzációs hatást és ennek segítségével a függővonalelhajlások izosztatikus anomáliáit. Az 1. ábrán vektorok ábrázolják a függővonalelhajlások izosztatikus anomáliáival arányos vízszintes erőösszetevőket. A függővonalelhajlás összetevőinek átszámítása erőösszetevőkre tudvalevőleg a következő összefüggések alapján történik:

$$U_x = 4,848 \cdot 981 \cdot 10^{-6} \xi \quad U_y = 4,848 \cdot 981 \cdot 10^{-6} \eta \cos \varphi.$$

Itt U_x , U_y a vízszintes erőösszetevők, ξ , η a függővonalelhajlás északi,



1. ábra. Izosztikus anomáliák és a relatív függővonalelhajlásokkal arányos vízszintes erőösszetevők

ill. keleti összetevője szögmásodpercben, φ a kérdéses pont földrajzi szélessége.

A függővonalelhajlás irányára vonatkozólag meg kell említenem, hogy Eötvös értelmezése szerint a függővonalelhajlás az ellipszoidikus és a csillagászati koordináták különbsége, tehát ellenkező előjelű, mint ahogyan a geodéziában értelmezni szokás. Feldolgozásomban Eötvös értelmezését követem.

Magyarország északi területén is feltüntettem négy asztrogeodéziai pont függővonalelhajlásának izosztikus anomáliáit.

A kérdéses területen a nehézség izosztikus anomáliáit dr. Facsinay László dolgozta ki és bocsátotta rendelkezésemre. Az izosztikus anomáliák vonalainak értékkeze 10 mgal.

Az ábrán világosan látható, hogy szoros összefüggés van a nehézségi erő és a függővonalelhajlás izosztikus anomáliái között. Szlovákia nyugati részén izosztikus maximum terület húzódik és az izosztikus függővonalelhajlások legnagyobb részben e maximum terület felé irányulnak. Az egybevetésnél figyelemmel kell lenni arra, hogy az ábrázolt függővonalelhajlás a vektor kezdőpontjára vonatkozik. Mindössze néhány vektor irányul a Szlovákia északi részén húzódó izosztikus depresszió

felé. A Kárpátok előterében, Lengyelország déli részén ábrázolt függővonalelhajlások szintén egy izosztatikus maximum terület felé irányulnak. A két maximum között levő minimumsáv területén nem állottak rendelkezésre a függővonalelhajlásra vonatkozó adatok. Magyarország területén a Nagyszálon mért függővonalelhajlás anomáliája északra mutat és megerősíti a függővonalelhajlások kapcsolatát a szlovákiai izosztatikus maximumokkal. A Jobbágyi-hegy, valamint a Frank-hegy izosztatikus anomáliái magyar területen a Mátra és a Bükk hegység vonalában húzódó izosztatikus maximum felé irányulnak.

A kérdéses terület földtani viszonyairól többek között Stille összefoglaló munkája ad tájékoztatót [5].

A függővonalelhajlásokkal is jellemzett nyugatszlovákiai izosztatikus maximum legnagyobb részben a Tatridák és Granidák, valamint a Gemridák területére esik, míg a Lengyelország déli részén húzódó izosztatikus maximum a külső flis övtől északra található.

Számításokat végeztem arra vonatkozólag, hogy mekkora és milyen elhelyezésű eltakart tömeg hozhat létre olyan rendű függővonalelhajlást, amilyen a kérdéses területen a függővonalelhajlások izosztatikus anomáliáiban jelentkezik. A számítást dr. Haáz Istvánnak 1953-ban levezetett képlete alapján végeztem el. [6]. Haáz István képlete lehetővé teszi a derékszögű hasáb alakú tömegtől származó vízszintes erőösszetevők kiszámítását. Kiszámítottam egy 180 km hosszú, 60 km széles és 10 km vastag hasáb hatását, ha a hasáb felső lapja a felszín alatt 2 km-re van; feltételeztem, hogy a hasáb sűrűségének különbsége a környezeti sűrűséghez viszonyítva 0,3. A vízszintes erőösszetevő a felszínnek olyan pontjában, amely a hasáb középpontjának felszíni vetületétől a keskenyebb oldallal párhuzamosan 60 km-re van, $36 \cdot 10^{-3}$ CGS, vagyis olyan nagyságrendű, mint amilyenek átlagban Szlovákia területén a függővonalelhajlások. Természetesen más méretű és elhelyezésű ható tömegek is létrehozhatnak ilyen nagyságrendű hatásokat, de a számpélda tájékoztatást ad azokról a tömegekről, amelyek az izosztatikus egyensúlytól való eltérést okozhatják.

A Kárpátok előteréből északnyugatról délkelet felé irányuló nyomás hatására létrejött alátolódások, amelyeket Stille összefoglaló művében részletesen kifejtett, nincsenek ellentmondásban a nehézség és a függővonalelhajlások izosztatikus anomáliáival.

Az előbbieken röviden kifejtettem, hogy a megfelelően redukált regionális jellegű függővonalelhajlások mennyiben erősítik meg és egészítik ki a nehézségi anomáliák által nyújtott képet. Hozzá kell tennem, hogy a regionális függővonalelhajlások természetesen a geoid alakjának pontosabb megismerését is lehetővé teszik. Ekkor azonban a közvetlenül észlelt, nem redukált függővonalelhajlások szolgálnak a számítások alapjául. Helmut Wolf említett összefoglaló tanulmányában egész Közép-Európára elvégezte a geoidundulációk kiszámítását az asztrogeodéziai úton mért függővonalelhajlásokból és megszerkesztette a geoidot jellemző egyenlő undulációjú vonalak rendszerét. Ez a feldolgozás természetesen magában foglalja mind a felszíni tagoltság, mind a földkéregben levő rendellenes sűrűségeloszlás hatását. A valóságos geoid-

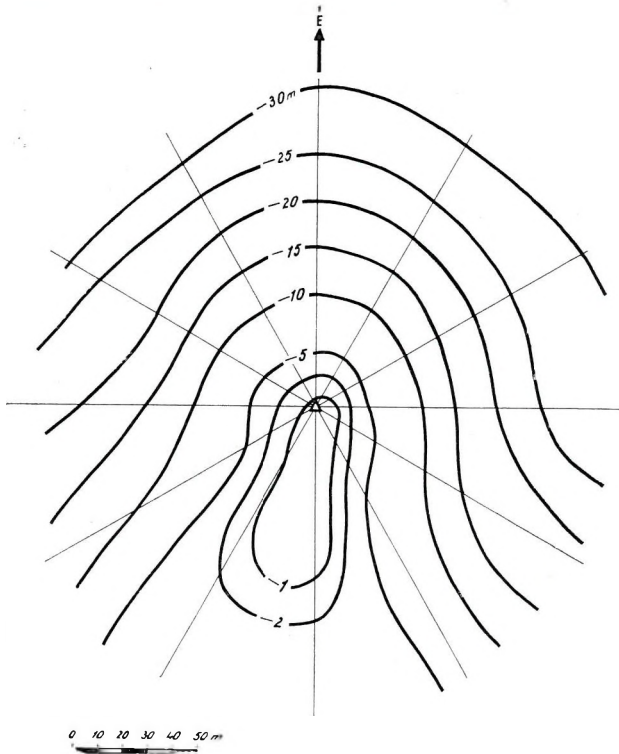
felület alakulására e tényezőknek befolyásuk van. Véleményem szerint azonban a regionális függővonalelhajlások ilyen célra történő felhasználásakor is szükséges a közvetlen környezet topografikus hatásának figyelembevételével a mért függővonalelhajlásokat redukálni, mert a közvetlen környezetnek befolyása a geoidfelületre regionálisan nem jellemző.

II. A közvetlen környezet hatása a függővonalelhajlásra

A továbbiakban röviden tárgyalni kívánom a közvetlen környezet hatásának kérdését a függővonalelhajlásokkal kapcsolatban. Irodalmi adatok szerint a függővonalelhajlások redukciója alkalmával a kérdéses

pont legközelebbi környezetének topografikus hatását nem szokták kiszámítani. Dr. Tárczy-Hornoch Antal akadémikus 1954-ben rámutatott a legközelebbi környezet topografikus hatásának jelentőségére a feldolgozó számításokban. E hatás számítására azonban a rendelkezésre álló legnagyobb méretarányú szintvonalas térképek sem alkalmasak, s ezért nélkülözhetetlen a kérdéses asztrogeodéziai pont közvetlen környezetében a topográfia meghatározása közvetlen szintezés útján.

A múlt évben a topográfia hatásának kérdését tanulmány tárgyává tettem az egyik magyarországi asztrogeodéziai ponton. E pontra nézve az 1:25 000 méretarányú térképla-



2. ábra. Asztrogeodéziai pont közvetlen környezetének szintvonalai

pok szintvonalai segítségével megállapítottam a függővonalelhajlás topografikus hatását ama közelítő képletek alapján, amelyeket 1952-ben megjelent értekezésemben közöltem [7]. Az asztrogeodéziai pont közvetlen környezetének hatása annyiban volt figyelembe véve, amennyire a szintvonalas térkép azt lehetővé tette. Mivel e pont közvetlen környezetében feltűnően nagy szintkülönbségek vannak, szükségessé

vált a közvetlen terep szintezése. A szintezés 12 irányban kb. 125 m-ig terjedt. Az asztrogeodéziai pont környezete minden irányban lejt. A szintezés adataiból részletes szintvonalas helyszínrajz készült (2. ábra) és ennek felhasználásával az előbb idézett [7] tanulmányban közölt pontos képletek segítségével kiszámítottam a közvetlen környezet hatását. Az eredmény:

$$U_x = -5,5 \cdot 10^{-4} \text{ CGS};$$

$$U_y = -1,2 \cdot 10^{-4} \text{ CGS};$$

125 m-en túl a topográfia hatását a szintvonalas térkép alapján állapítottam meg a következő eredménnyel:

$$U_x = -10,5 \cdot 10^{-4} \text{ CGS};$$

$$U_y = -12,3 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}.$$

Az összes topografikus hatás $U_x = -16,0 \cdot 10^{-4} \text{ CGS};$

$$U_y = -13,5 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}.$$

Ezzel szemben az a topografikus hatás, amelyet csupán a szintvonalas térkép alapján számítottam ki:

$$U_x = -4,5 \cdot 10^{-4} \text{ CGS};$$

$$U_y = -13,2 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}.$$

Feltűnő az U_x erőösszetevőben a jelentékeny eltérés a kétféle meghatározás között. Ennek az a magyarázata, hogy a kérdéses asztrogeodéziai ponttól északra igen meredek esés van; 100 m-en belül kb. 30 m szintkülönbség van, délre pedig lassú a szintváltozás.

Ez a konkrét példa bizonyítja, hogy a függővonelelhajlás topografikus hatásának kiszámításában nem mellőzhető a közvetlen környezet szintezéssel megállapított domborzatának ismerete.

III. Függővonelelhajlás számítása a nehézségi anomáliákból

Ismeretes, hogy Stokes képletének felhasználásával [8] a földfelszín bármely pontjára ki lehet számítani a függővonelelhajlást a nehézségi anomáliákból, ha a kérdéses pont közelében részletesen ismerjük a nehézségi anomáliákat. Különböző országokban történtek erre vonatkozólag számítások és az elméletileg kiszámított függővonelelhajlásokat a tényleg mért értékekkel egybevetették. Magyarországon tudomásom szerint ilyen számítás eddig még nem történt. Ilyen számítás céljára elsősorban az izosztatikus anomáliák alkalmasak. Próbaképpen megkísértem a Magyarországon központi fekvésű Erdőhegy elnevezésű asztrogeodéziai pontra Stokes képlete alapján a függővonelelhajlás kiszámítását. Sajnos, az ország területén kívül csak hiányos észlelési anyag állott rendelkezésemre s így a számítást egyelőre az ország határain belül, azonkívül a szlovákiai területen mért gravitációs adatok alapján végeztem el az asztrogeodéziai ponttól kb. 140 km-ig terjedő körzeten belül. Bár távolabbi területek nehézségi adatai kisebb súllyal esnek

latba, az eddig figyelembe vett körzet nagyon kis terjedelmű. Az ideiglenes számítás szerint a Stokes-féle képlettel nyert vízszintes erőösszetevők:

$$U_x = -126 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}; \quad U_y = +20 \cdot 10^{-4} \text{ CGS.}$$

Az észlelt értékek ugyanazon a ponton:

$$U_x = -128 \cdot 10^{-4} \text{ CGS}; \quad U_y = +42 \cdot 10^{-4} \text{ CGS.}$$

A keleti összetevőben mutatkozó eltérés valószínűleg csökken, ha távolabbi zónákat is sikerül tekintetbe venni. Ugyanis a még figyelembe veendő közelebbi zónákba esik az Alpok vidéke, amelyeknek túlnyomóan negatív izosztatikus anomáliája pozitív értékkel változtatja meg U_y értékét.

Jelen tanulmányomban az asztrogeodéziai úton mért függővonal-elhajlásokkal foglalkoztam. Regionális vizsgálatokra kétségkívül ezek a függővonal-elhajlások alkalmasak. Azonban a finomabb hegyszerszerkezeti kutatásoknál, valamint a geoidundulációk apróbb részleteinek megvizsgálásánál jó szolgálatokat nyújthatnak az Eötvös-inga mérések görbületi adataiból kiszámítható viszonylagos függővonal-elhajlások s ezért ajánlatos ennek a kiértékelő munkának az elvégzése olyan területeken, ahol nagyobb terjedelmű Eötvös-inga mérések történtek és ahol a kérdéses területen, vagy annak közelében legalább egy asztrogeodéziai meghatározás is volt.

I R O D A L O M

1. Renner János: A függővonal-elhajlások regionális jellege. Geofizikai Közlemények VI. 1—2. 1957.
2. Wolf, H.: Versuch einer Geoidbestimmung im mittleren Europa aus astronomisch-geodätischen Lotabweichungen. Mitteilung Nr. 15 des Instituts für angewandte Geodäsie. 1956.
3. Pick, M.: Vorläufige Karte des Geoides auf dem Gebiet der Tschechoslowakischen Republik. Geofysikální Sborník. 1954.
4. Darling, F. W.: Fundamental Tables for the Deflection of the Vertical. Washington. 1949.
5. Stille, H.: Der geotektonische Werdegang der Karpaten. Beihefte zum Geologischen Jahrbuch. Hannover 1953.
6. Haáz István: Kapcsolat a derékszögű hasáb tömegvonzásának potenciálja és a potenciál deriváltjai között. Geofizikai Közlemények II. 1953.
7. Renner János: A függővonal-elhajlás. Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei. V. 1. 2. 1952.
8. Stokes, G. G.: On the Variation of Gravity at the Surface of the Earth. Trans. Cambridge Phil. Soc. 1849.