

Felszínközeli képződmények sűrűségének számítása gravimetriai adatokból (esettanulmány)¹

KOVÁCSVÖLGYI SÁNDOR²

Földtani és geofizikai szempontból egyaránt jól ismert kutatási területen próbáltunk ki különböző sűrűségszámítási eljárásokat. A legmegbízhatóbb eljárásnak a látszólagos sűrűség értékek számítása és statisztikai feldolgozása bizonyult. Ennek valószínű oka az, hogy az eljárás lehetőséget ad az adatoknak a jel/zaj viszonyt javító, de ugyanakkor objektív előválogatására. Az eljárás hátránya, hogy csak statisztikai feldolgozásra alkalmas adatmennyiség esetén használható.

S. KOVÁCSVÖLGYI: Density determination of near-surface formations based on gravity data — a case history

Different procedures for density determination were tested in an area well known both from geological and geophysical viewpoints. The calculation and statistical processing of apparent density data proved to be the most reliable procedure. The probable reason may be that this procedure allows an impartial pre-selection of data improving at the same time the signal-to-noise ratio as well. A drawback of the procedure is that it can only be used for a data quantity suitable for statistical processing.

Bevezetés

A felszínközeli képződmények sűrűségének ismerete két szempontból is fontos: egyrészt ez a paraméter önmagában is értelmezhető, földtani információt hordozó adat, másrészt a Bouguer-anomáliák számítása folyamán használt egyes korrekciókban szerepel, ezért hat a Bouguer-anomáliák értékére, így a gravimetriai anomáliák értelmezésére is. A gyakorlatban sűrűn előfordul, hogy a vizsgált területről nem rendelkezünk laboratóriumi méréseken, vagy sűrűség karotázson alapuló adatokkal, így a gravimetriai adatok további feldolgozásához szükséges sűrűség értéket magukból a gravimetriai adatokból kell meghatározni.

A Bouguer-anomália számítás közismert képlete szerint:

$$\Delta g_B = g - g_0 + (0,3086 - 0,0419\sigma)h + \sigma T \quad (1)$$

ahol Δg_B — a Bouguer-anomália, g — a mérésekből meghatározott nehézségi gyorsulás, g_0 — a Föld normál tere, h — a pont magassága egy bizonyos

vonatkoztatási szinthez képest, σ — a pont szintje és a vonatkoztatási szint között települő képződmények sűrűsége, T — az 1000 kg/cm^3 sűrűsége meghatározott domborzati korrekció.

A felszínközeli képződmények sűrűségét számító eljárások a fenti összefüggésen alapulnak. Különbözőségük abból ered, hogy eltérő módon próbálják megkerülni azt a problémát, hogy méréseinkből valójában nem ismerünk $g=f(h)$ jellegű összefüggést, hiszen különböző pontokban mértünk, ezért a mért értékeket a földtani környezet is befolyásolja.

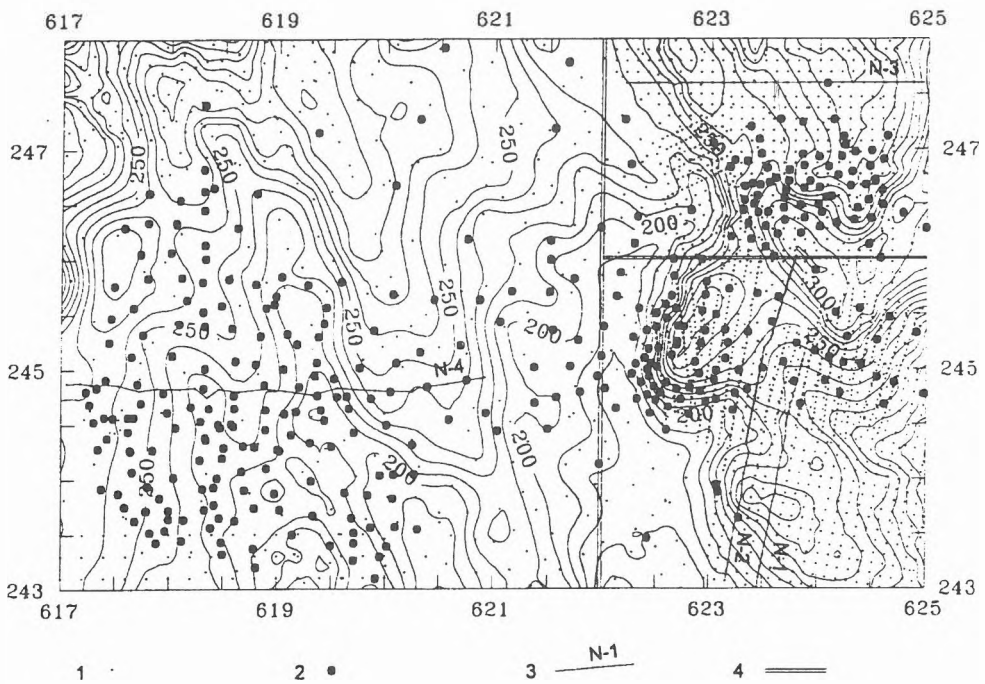
Esettanulmányunkban a Mátyás-Kelet—Zsámbék kutatási területen különböző módszerekkel végzett próbaszámításainkat mutatjuk be. A munka az OTKA T 7388 kutatási téma keretében készült.

A terület megkutatottsága az országban a legjobbak közé tartozik. Az 1. ábrán feltüntettük a domborzat szintvonalait, a gravimetriai állomások helyét, valamint a lemélyült több, mint 300 fúrást. Mind itt, mind a 2. ábrán (Bouguer-anomália térkép) feltüntettük a szelvény menti sűrűség meghatározásánál felhasznált szelvényeket, valamint a területi sűrűség meghatározásánál alkalmazott terület felbonthatást.

A nagyszámú fúrás rétegsora szerint a rétegsor felső 100—150 méterét, mely az adott domborzati viszonyok között a sűrűségszámítást befolyásolja, miocén-pleisztocén laza üledékek alkotják. 49 fúrás

¹Beérkezett: 1996. április 26-án

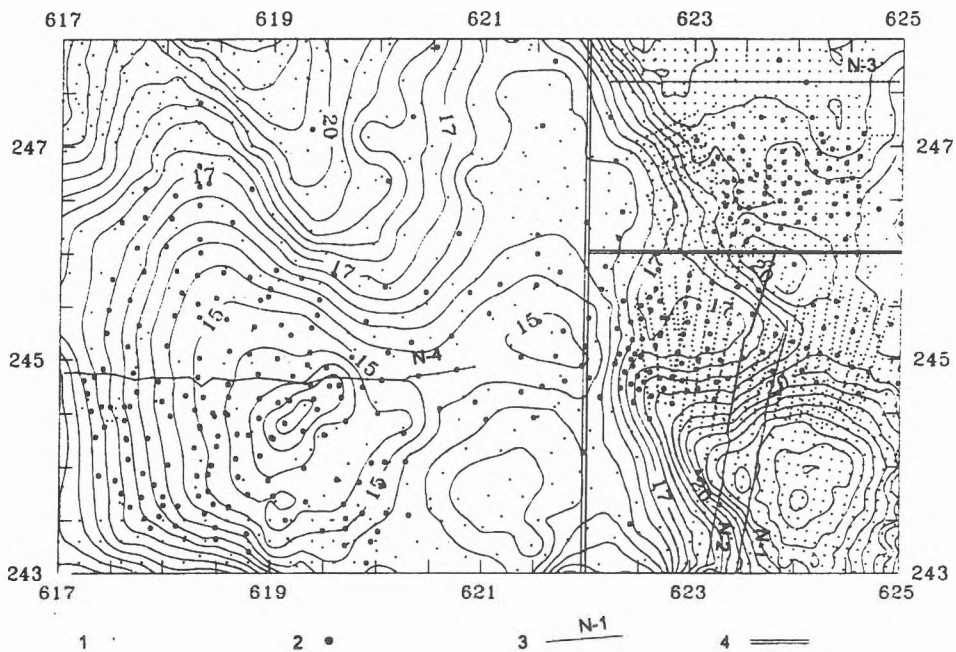
²Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.



1. ábra. A vizsgált terület domborzata. Jelmagyarázat: 1—gravitációs mérőpont; 2—mélyfúrás; 3—Nettleton-szelvény nyomvonala; 4—a részterületek határai. A koordináták EOV-ben és kilométerben értendők

Fig. 1. The topography of the surveyed area

Legends: 1—gravity measuring point; 2—drill hole; 3—location of the Nettleton profile; 4—boundaries of part-areas. Coordinates are given in km and in EOV system



2. ábra. Bouguer-anomália térkép. Jelmagyarázat: 1—gravitációs mérőpont; 2—mélyfúrás; 3—Nettleton-szelvény nyomvonala; 4—a részterületek határai. A koordináták EOV-ben és kilométerben értendők

Fig. 2. Bouguer anomaly map of the surveyed area

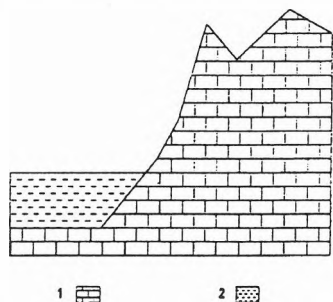
Legends: 1—gravity measuring point; 2—drill hole; 3—location of the Nettleton profile; 4—boundaries of part-areas. Coordinates are given in km and in EOV system

gamma-gamma sűrűség karotázs görbéje alapján ezen összlet átlagsűrűsége 2130 kg/m^3 .

1. A Nettleton-módszer

A hazai gyakorlatban az ún. Nettleton-módszer a legelterjedtebb [NETTLETON 1939], a geofizikai tankönyvek is ezt tárgyalják [RENNER et al. 1970, MESKÓ 1989]. Az eljárást alkalmazva kiválasztott szelvény(ek) mentén különböző korrekciós sűrűséggel kiszámítjuk a Bouguer-anomáliákat, majd azok menetét összevetjük a topográfia változásával. Azt a korrekciós sűrűséget fogadjuk el helyesnek, amely mellett a Bouguer-anomáliák és a topográfia között nem tapasztalunk korrelációt. A pozitív korreláció a túl kicsire, míg a negatív korreláció a túl nagyra választott korrekciós sűrűség jele.

A módszer problémáit, melyekre már az eredeti Nettleton-cikk [NETTLETON 1939] is utal, a 3. ábra szemlélteti. A jobb oldalon lévő hegyoldalban nagy-sűrűségű alaphegységi képződmények bukkanak felszínre. A bal oldali völgyben ezeket bizonyos vastagságú kissűrűségű üledék fedi, így itt Bouguer-minimumot kell kapnunk, vagyis a domborzat és a



3. ábra. Elvi vázlat a Nettleton-módszer problémájának szemléltetésére. Jelmagyarázat: 1—nagy sűrűségű alaphegységi képződmények; 2—kis sűrűségű fiatal üledékek

Fig. 3. Principal sketch for illustrating the problem of the Nettleton method. Legends: 1—high density basement formations; 2—young sediments of low density

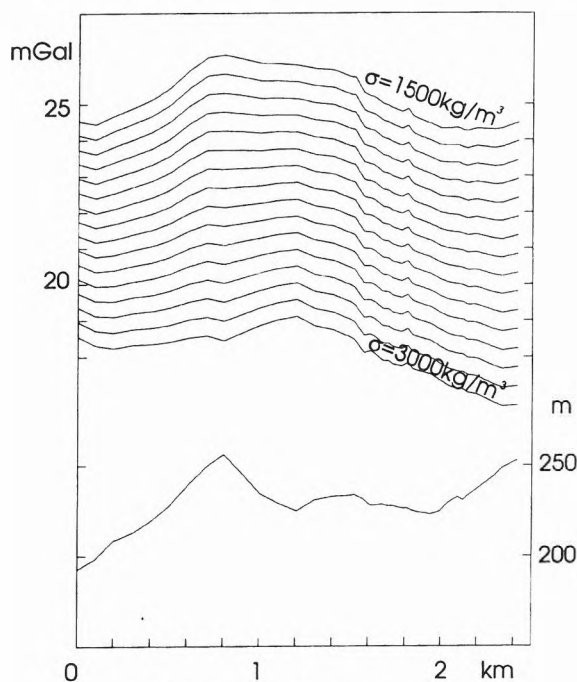
topográfia közötti korreláció teljes mértékben indokolt, így a Nettleton-módszer mechanikus alkalmazása hibás következtetéshez vezethet.

Elfogadva, hogy a nagy völgy felett helyes korrekciós sűrűség mellett minimumot kapunk, a Nettleton-módszert úgy is alkalmazhatjuk, hogy csak a felszín kisebb egyenetlenségeit vizsgáljuk (példánkban a jobb oldali hegy kisebb mélyedéseit). Ez esetben azonban el kell döntenünk, hogy mely formákat tekintjük „nagy”-nak, és melyeket „kicsi”-nek, de ahhoz azért elégséges méretűnek, hogy a gravitációs anomáliákat befolyásolják.

Meg kell jegyezni, hogy a 3. ábra csak egy igen egyszerű esetet tárgyal. A természetben a legkülönbözőbb földtani eredetű gravitációs anomáliák bonyolítják a Bouguer-anomália — topográfia összefüggést.

A próbaterületen 4 szelvény mentén számítottunk Bouguer-anomáliákat az $1500\text{--}3000 \text{ kg/m}^3$ korrekciós sűrűség intervallumra (4—7. ábrák), a paraméter értékét 100 kg/m^3 -rel változtatva.

Az N-1 szelvényen (4. ábra) megfigyelhető, hogy a Bouguer-anomália maximum 1500 kg/m^3 mellett a $0,7 \text{ km}$ -nél található kiemelkedésre esik, majd a sűrűséget növelve, fokozatosan elcsúszik az $1,2 \text{ km}$ -nél található völgy felé. Mivel azonban a teljes kiemelkedést és a süllyedést egyaránt magába foglaló $0,5 \text{ km}\text{--}2 \text{ km}$ szakasz (a szelvény hosszához képest) regionális Bouguer-maximumnak tekinthető, nehéz meghatározni azt a konkrét sűrűség értéket, amely-

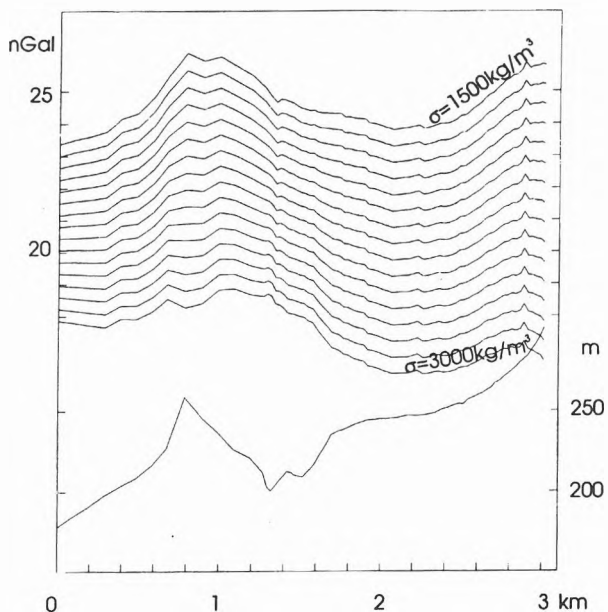


4. ábra. Az N-1 Nettleton-szelvény

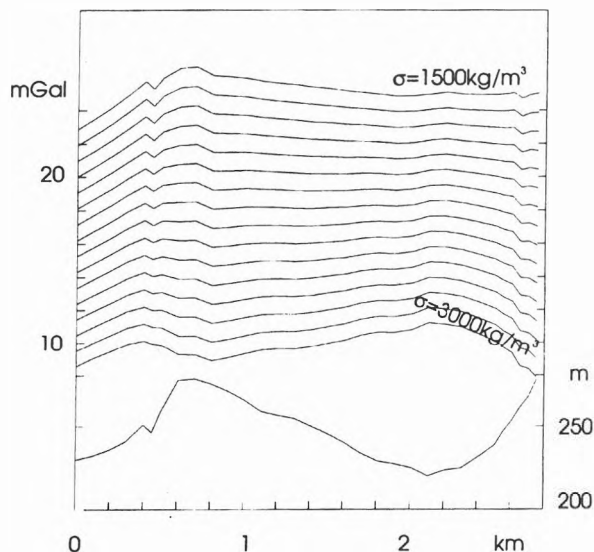
Fig. 4. Nettleton profile N-1

nél a topográfia hatása a legkevésbé érzékelhető, 1800 kg/m^3 és 2200 kg/m^3 között bármelyik érték megfelelőnek tűnik.

Az N-2 szelvény (5. ábra) az N-1-gyel párhuzamosan, attól mintegy 400 méterre húzódik. A méréseket feltehetően az előző szelvényen tapasztaltnál nagyobb zaj terheli, így a topográfia okozta változások, úgy tűnik, gyakorlatilag a zajszintbe esnek. Ha a zajt figyelmen kívül hagyjuk, megállapítható, hogy a $0,75 \text{ km}$ -nél található kiemelkedés okozta Bouguer-maximum csak 2400 kg/m^3 sűrűség



5. ábra. Az N-2 Nettleton-szelvény
Fig. 5. Nettleton profile N-2



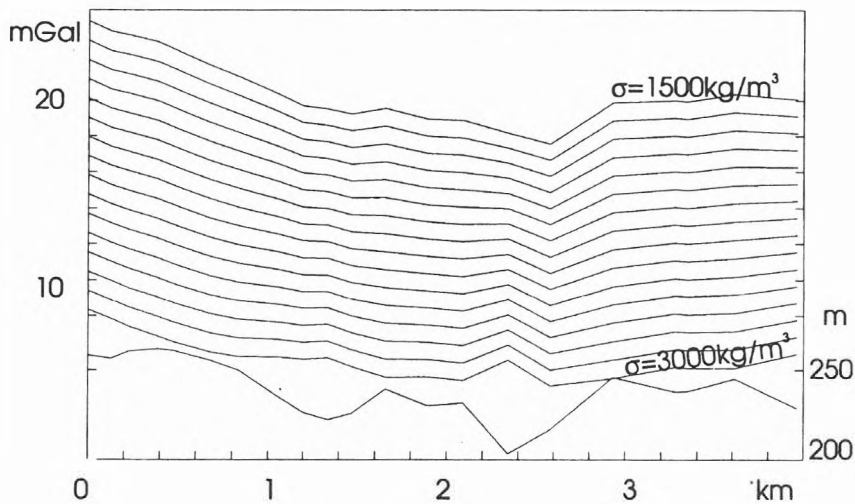
6. ábra. Az N-3 Nettleton-szelvény
Fig. 6. Nettleton profile N-3

mellett tűnik el, míg 2200 kg/m^3 mellett már megjelenik az 1,2–1,7 km szakaszon található völgygel antikorréláló, kissé emelkedő Bouguer-anomália. A szelvény alapján így 2300 kg/m^3 -re becsülhető sűrűség azonban soknak tűnik úgy az igen közel fekvő N-1 szelvényen tapasztaltakhoz képest, mint az itt felszínközeli települő oligocén-pliocén korú üledékekre ismert sűrűség értékekhez képest.

Az N-3 szelvényen (6. ábra) a 0,5–0,8 km szakaszon látható kiemelkedés hatása a 2300 kg/m^3 -nél kisebb korrekciós sűrűséggel számolt görbéken megfigyelhető, azonban a 2,0–2,5 km szakasz völgyével antikorréláló Bouguer-maximum már 1900 kg/m^3 sűrűség-nél kimutatható. A Nettleton-módszer mechanikus alkalmazása azt sugallná, hogy a szelvény két végén található felszínközeli képződmények sűrűsége akár több száz kg/m^3 -rel is eltérhet egymástól, ez azonban a földtani viszonyok ismeretében aligha képzelhető el.

Az N-4 szelvényen (7. ábra) az adatsűrűség ugyan kisebb az előzőeknél, de a nagyobb szelvényhossz miatt a sűrűség itt több topográfiai elem alapján becsülhető. A 0,2–1,0 km kö-

zötti dombbal antikorréláló Bouguer-anomália csökkenés 2300 kg/m^3 sűrűségnél még nem látható, az 1,35 km-nél található völgygel már 1900 kg/m^3 sűrűség mellett kimutatható az antikorréláció. Az 1,65 km-nél található csúcs hatása 2300 kg/m^3 és 2600 kg/m^3 sűrűségek között nem mutatható ki. A 2,35 km-nél található völgy hatása már 1800 kg/m^3 sűrűség mellett megjelenik. A 2,9 km-nél található csúccsal a 2500 kg/m^3 -nél kisebb sűrűséggel számolt görbék korrelálnak.



7. ábra. Az N-4 Nettleton-szelvény
Fig. 7. Nettleton profile N-4

Mint látható, a Nettleton-módszer alkalmazásával kapott eredmények szórása igen nagy. A legtöbb vizsgált topográfiai elem esetében azt tapasztaltuk, hogy 3-4 Bouguer-anomália görbe is körülbelül egyformán rossz korrelációt mutat — ez eleve $300\text{--}400\text{ kg/m}^3$ bizonytalanságot jelent —, ráadásul a szomszédos elemnél a rossz korreláció gyakran egészen más sűrűségek mellett mutatható ki. A próbaterületen elért pontosság pusztán a felszínközeli képződmények földtani térképszerű hozzávetőleges ismerete és korábbi összefoglaló munkák [SZÉNÁS 1965] táblázatai alapján is elérhető.

2. Területi Nettleton-módszer

A szelvény menti Nettleton-módszert területre is általánosíthatjuk. Ez esetben azt a korrekciós sűrűséget tekintjük helyesnek, amely mellett a vizsgált területen a Bouguer-anomáliák és a vonatkoztatási szinthez viszonyított magasság közötti korrelációs együttható értéke 0. A szelvény menti eljárásához képest nyilvánvaló előnyt jelent, hogy az eredmények nem függenek a topográfiai elem kiválasztásától, ugyanakkor az eljárás automatizmusának megfelelően a sűrűség meghatározás folyamata már nem tartható kézben, a kiértékelő gyakran csak az eredményként kapott „hihetetlen” értékekből értesül arról, hogy a ténylegesen földtani eredetű anomáliák nem tették lehetővé a helyes sűrűség meghatározást. És ez még kedvező esetnek tekinthető, hiszen ellentétes esetben a kapott eredmény „hihető” volna még semmi garanciát nem jelent helyes voltára.

A vizsgált területen a módszer helyesnek tekinthető 2100 kg/m^3 eredményt adott. Felmerül a kérdés, hogy a képződmények ismert sűrűségének viszonylagos állandósága mellett a számításokból kapott eredmények mennyire stabilak a területen belül. Ennek vizsgálatára a területet az $y=622$ koordináta vonal mentén, ahol a felmértség is jelentősen változik, kettévágtuk, majd a jobban felmért keleti területet ismét ketté. Az egyes részterületekre kapott számítási eredményeket az *I. táblázat* tartalmazza.

Terület	Sűrűség (kg/m^3)	adatszám
Teljes	2100	2242
Nyugati fél	3030	417
Keleti fél	1880	1825
Északkeleti negyed	2420	651
Délkeleti negyed	1670	1174

I. táblázat. Területi Nettleton-eljárással kapott felszínközeli sűrűség értékek

Mint a táblázat mutatja, az eredmények továbbra is esetlegesek, nem megbízhatóak. A kapott értékek nagyjából felölelik Magyarország közeteinek teljes sűrűség érték tartományát, jöllehet a terület kicsi, a földtani felépítés, a képződmények hasonlóak. A szelvény menti eljárásban tapasztalt topográfiai elemenkénti különbözőség itt némileg rejtve, területenkénti különbözőségként jelentkezik.

3. A Parasznisz-eljárás

Az (1) képlet a következő módon is felírható:

$$g_B = g_f + (T - 0,0419h)\sigma \quad (2)$$

ahol g_f az ún. gravitációs free-air anomália (csak normáltér- és tiszta magassági korrekcióval számolva).

Így a sűrűség és a Bouguer-anomália között lineáris a kapcsolat. Valamely kezdő sűrűség értékre a Bouguer-anomáliákat kiszámítva a tényleges sűrűség és a számításnál használt sűrűség különbségét a Bouguer-anomália és a hozzájuk tartozó $(T-0,0419h)$ mennyiségekre számított regressziós egyenes iránytangenseként kapjuk ([MUDRECOVA 1981], eredeti hivatkozás [PARASZNISZ 1965]). Jöllehet a leírás erre nem tér ki, de az eljárás nyilván iteratív, a kapott sűrűségkülönbséggel a kezdő értéket korrigáljuk, majd az így kapott értékkel Bouguer-anomáliát számolva a procedúrát megismételjük egészen addig, amíg a kapott különbségek elhanyagolhatóan kicsik lesznek.

A számításokat a területi Nettleton-eljárás vizsgálatánál alkalmazott felbontásban végeztük, az eredményeket a *II. táblázat* mutatja.

Terület	Sűrűség (kg/m^3)
Teljes	2120
Nyugati fél	2990
Keleti fél	1870
Északkeleti negyed	2440
Délkeleti negyed	1700

II. táblázat. Parasznisz-eljárással kapott felszínközeli sűrűség értékek

A kapott eredmények a területi Nettleton-eljárással kapott számokhoz igen közeliek, az ott kifejtett kételyek természetesen itt is érvényesek.

4. Látszólagos sűrűség számítása

Két gravitációs állomás megfelelő adatait az (1) képletbe behelyettesítve, és az egyenletrendszert a sűrűsége kifejezve a két állomás közötti látszólagos sűrűségként definiálható a következő paraméter:

$$s_1 = \frac{\Delta g - \Delta g_0 + 0,3086\Delta h}{0,0419\Delta h - \Delta T} \quad (3)$$

A paraméterek jelentése megfelel az (1) képletnek, a Δ azt jelenti, hogy a két állomásra meghatározott érték különbségével kell számolni.

Maga a paraméter irodalomból régóta ismert [MUDRECOVA 1981], a „látszólagos” jelzőt az egyéb geofizikai analógiák alapján használjuk. A látszólagos sűrűséget akkor lehetne a két állomás közötti térrész sűrűségének, esetleg egy bizonyos átlagsűrűségének tekinteni, ha a pontok között nem lenne tényleges (földtani eredetű) Bouguer-anomália különbség. Ez a feltétel azonban csak ritkán teljesül, így biztosak lehetünk abban, hogy a (3) alapján meghatározott látszólagos sűrűség értékek a mérések pontatlanságából eredő hibákon túlmenően is gyakorlatilag mindig eltérnek a tényleges sűrűségtől. Így az egyedi számítások által kapott értékek feltehetően nem értelmezhetők, azokból nem szerkeszthető térkép stb. Felmerül azonban annak a lehetősége, hogy nagy mennyiségű adattal dolgozva statisztikusan helyes értéket kaphatunk, hiszen a pontpárok közötti tényleges Bouguer-anomália különbség, amely a sűrűség számításban zajként jelentkezik, egyaránt lehet pozitív és negatív irányú.

A (3) szerinti számítás elvileg bármely pontpárra elvégezhető. Gyakorlati szempontból azonban bizonyos megszorításokat célszerű alkalmazni. Minél kisebb ugyanis a két pont közötti távolság, annál kevésbé valószínű, hogy jelentős a pontok közötti tényleges Bouguer-anomália különbség. Minél nagyobb a pontok közötti magasságkülönbség, annál számottevőbb ennek a sűrűségtől függő tényezőnek

a hatása a mért nehézségi erő különbség kialakulásában, azaz annál inkább sikerül elnyomni a tényleges Bouguer-anomália különbség hatását. A feltételek kialakítása folyamán persze arra is gondolni kell, hogy a látszólagos sűrűség csak statisztikusan értelmezhető, így az előválogatás után megfelelő számú pontpárnak kell maradnia.

Kísérletünkben a távolságot 300 méterben maximumra, és legalább 10 méteres magasságkülönbség esetén számoltunk. Összesen 18 840, a feltételeket kielégítő pontpárt találtunk, ezekre elvégeztük a számítást, majd a szokásos területi felbontás szerint vizsgáltuk az eredményeket. A számított látszólagos sűrűség értékek relatív gyakoriságát 100 kg/m^3 széles sávokra meghatároztuk, és hisztogramokon ábrázoltuk (8. ábra).

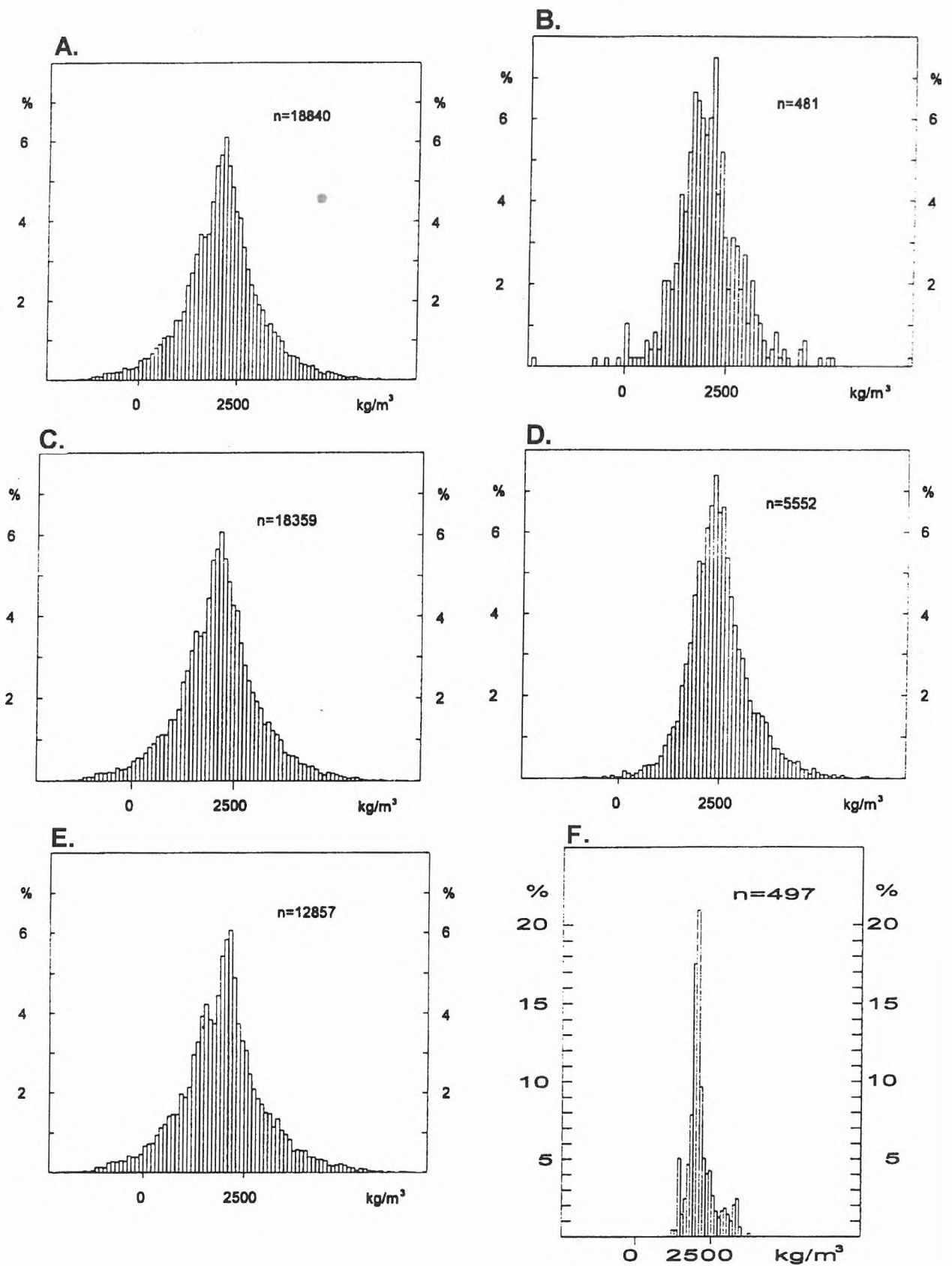
A várakozásnak megfelelően a látszólagos sűrűség értékek szórása nagy, tekintélyes részük kívül esik a „híhető” tartományon. Ezzel együtt valamennyi hisztogram jól kifejezett gyakoriság maximumot mutat valahol $2000\text{--}2300 \text{ kg/m}^3$ között, és nagy gyakoriságok csak a maximum körüli értékekre fordulnak elő. A nyugati területrész hisztogramja alakjában is eltér a többitől, de itt sokkal alacsonyabb az adatszám (481 pontpár).

A csoportokra átlagot, és — tekintetbe véve a nem feltétlenül szimmetrikus eloszlást, és a kiugró értékeket — leggyakoribb értéket (most frequent value, ld. [STEINER 1990]) számítottunk. Egy javítási kísérlet keretében a csoportokból kiemeltük az $1500\text{--}2700 \text{ kg/m}^3$ közötti, önkényesen kiválasztott „híhető” tartományba eső értékeket, és azokra új számításokat végeztünk.

Az eredményeket a III. táblázat tartalmazza. Mint látható, a csoportok között jóval kisebb különbséget tapasztalunk, mint az eddig vizsgált módszerek esetében. A szórás tovább csökken, ha csak a „híhető” értékekkel számolunk, ez esetben a teljes terület 2080 kg/m^3 -es átlaga mellett a részterületek átlagai 2000 és 2150 kg/m^3 között változnak. Az átlagok és a leggyakoribb értékek kevés eltérést mutatnak.

	Minden számított értékre			„Híhető” értékre		
	adatszám	átlag	MFV	adatszám	átlag	MFV
Teljes terület (8a. ábra)	188840	2020	2010	10095	2080	2070
Nyugati fél (8b. ábra)	481	1930	1860	282	2000	1960
Keleti fél (8c. ábra)	18359	2020	2010	9813	2080	2070
Északkeleti negyed (8d. ábra)	5552	2360	2280	3554	2150	2170
Délkeleti negyed (8e. ábra)	12807	1870	1860	6259	2040	2020

III. táblázat. A látszólagos sűrűség átlagos és leggyakoribb értékei kg/m^3 -ben



8. ábra. Látszólagos sűrűség értékek histogramjai. a—teljes vizsgálati terület; b—nyugati területrész; c—keleti területrész; d—északkeleti területrész; e—délkeleti területrész; f—teljes vizsgálati terület, $\Delta h > 50$ m

Fig. 8. Histograms of apparent density values. a—total surveyed area; b—western part-area; c—eastern part-area; d—north-western part-area; e—south-eastern part-area; f—total surveyed area, $\Delta h > 50$ m

4. Látszólagos sűrűség számítása

Két gravitációs állomás megfelelő adatait az (1) képletbe behelyettesítve, és az egyenletrendszert a sűrűsége kifejezve a két állomás közötti látszólagos sűrűségként definiálható a következő paraméter:

$$s_1 = \frac{\Delta g - \Delta g_0 + 0,3086\Delta h}{0,0419\Delta h - \Delta T} \quad (3)$$

A paraméterek jelentése megfelel az (1) képletnek, a Δ azt jelenti, hogy a két állomásra meghatározott érték különbségével kell számolni.

Maga a paraméter irodalomból régóta ismert [MUDRECOVA 1981], a „látszólagos” jelzőt az egyéb geofizikai analógiák alapján használjuk. A látszólagos sűrűséget akkor lehetne a két állomás közötti térrész sűrűségének, esetleg egy bizonyos átlagsűrűségének tekinteni, ha a pontok között nem lenne tényleges (földtani eredetű) Bouguer-anomália különbség. Ez a feltétel azonban csak ritkán teljesül, így biztosak lehetünk abban, hogy a (3) alapján meghatározott látszólagos sűrűség értékek a mérések pontatlanságából eredő hibákon túlmenően is gyakorlatilag mindig eltérnek a tényleges sűrűségtől. Így az egyedi számítások által kapott értékek feltehetően nem értelmezhetők, azokból nem szerkeszthető térkép stb. Felmerül azonban annak a lehetősége, hogy nagy mennyiségű adattal dolgozva statisztikusan helyes értéket kaphatunk, hiszen a pontpárok közötti tényleges Bouguer-anomália különbség, amely a sűrűség számításban zajként jelentkezik, egyaránt lehet pozitív és negatív irányú.

A (3) szerinti számítás elvileg bármely pontpárra elvégezhető. Gyakorlati szempontból azonban bizonyos megszorításokat célszerű alkalmazni. Minél kisebb ugyanis a két pont közötti távolság, annál kevésbé valószínű, hogy jelentős a pontok közötti tényleges Bouguer-anomália különbség. Minél nagyobb a pontok közötti magasságkülönbség, annál számottevőbb ennek a sűrűségtől függő tényezőnek

a hatása a mért nehézségi erő különbség kialakulásában, azaz annál inkább sikerül elnyomni a tényleges Bouguer-anomália különbség hatását. A feltételek kialakítása folyamán persze arra is gondolni kell, hogy a látszólagos sűrűség csak statisztikusan értelmezhető, így az előválogatás után megfelelő számú pontpárnak kell maradnia.

Kísérletünkben a távolságot 300 méterben maximumra, és legalább 10 méteres magasságkülönbség esetén számoltunk. Összesen 18 840, a feltételeket kielégítő pontpárt találtunk, ezekre elvégeztük a számítást, majd a szokásos területi felbontás szerint vizsgáltuk az eredményeket. A számított látszólagos sűrűség értékek relatív gyakoriságát 100 kg/m^3 széles sávokra meghatároztuk, és hisztogramokon ábrázoltuk (8. ábra).

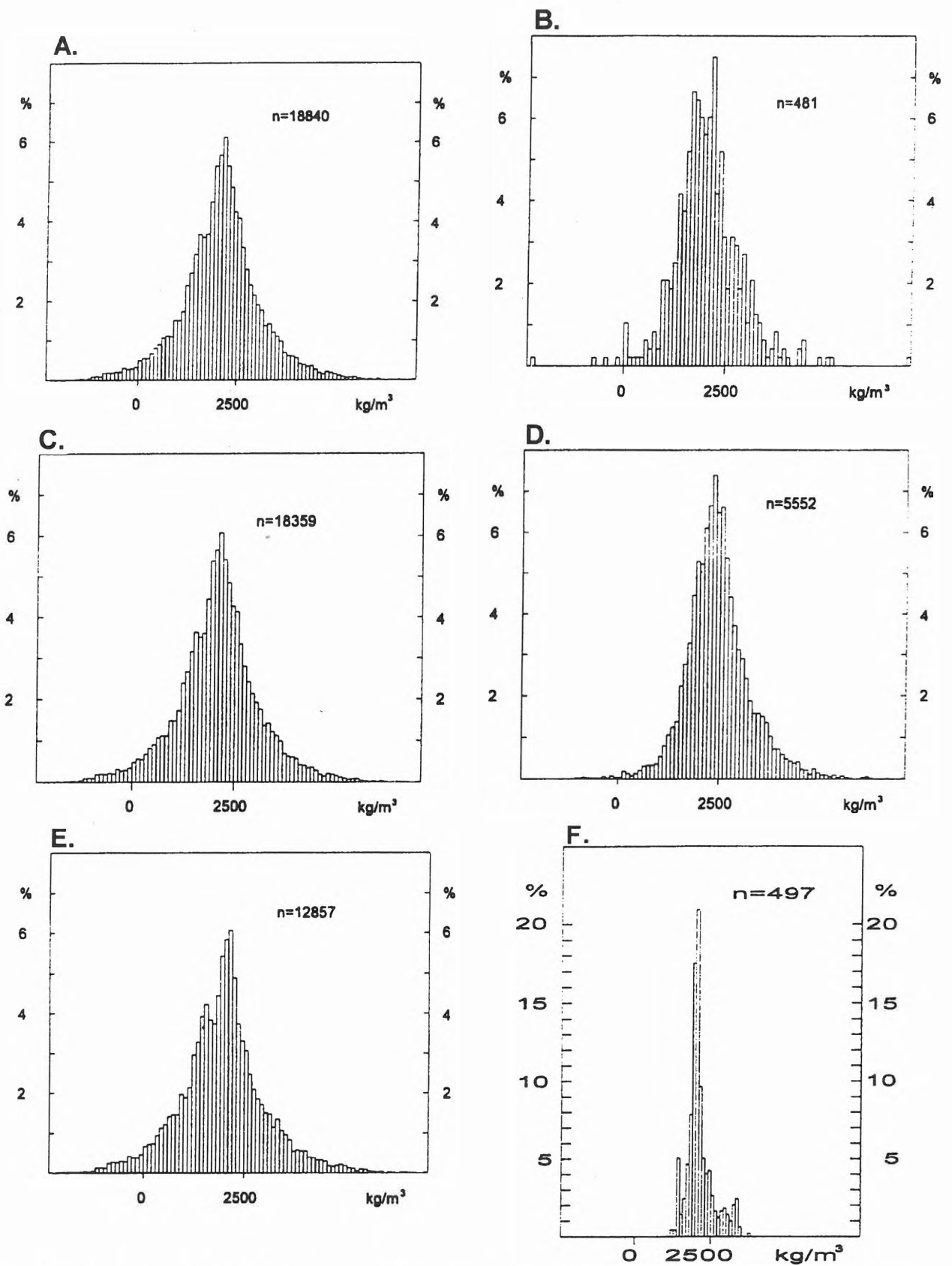
A várakozásnak megfelelően a látszólagos sűrűség értékek szórása nagy, tekintélyes részük kívül esik a „híhető” tartományon. Ezzel együtt valamennyi hisztogram jól kifejezett gyakoriság maximumot mutat valahol $2000\text{--}2300 \text{ kg/m}^3$ között, és nagy gyakoriságok csak a maximum körüli értékekre fordulnak elő. A nyugati területrész hisztogramja alakjában is eltér a többitől, de itt sokkal alacsonyabb az adatszám (481 pontpár).

A csoportokra átlagot, és — tekintetbe véve a nem feltétlenül szimmetrikus eloszlást, és a kiugró értékeket — leggyakoribb értéket (most frequent value, ld. [STEINER 1990]) számítottunk. Egy javítási kísérlet keretében a csoportokból kiemeltük az $1500\text{--}2700 \text{ kg/m}^3$ közötti, önkényesen kiválasztott „híhető” tartományba eső értékeket, és azokra új számításokat végeztünk.

Az eredményeket a III. táblázat tartalmazza. Mint látható, a csoportok között jóval kisebb különbséget tapasztalunk, mint az eddig vizsgált módszerek esetében. A szórás tovább csökken, ha csak a „híhető” értékekkel számolunk, ez esetben a teljes terület 2080 kg/m^3 -es átlaga mellett a részterületek átlagai 2000 és 2150 kg/m^3 között változnak. Az átlagok és a leggyakoribb értékek kevés eltérést mutatnak.

	Minden számított értékre			„Híhető” értékre		
	adatszám	átlag	MFV	adatszám	átlag	MFV
Teljes terület (8a. ábra)	188840	2020	2010	10095	2080	2070
Nyugati fél (8b. ábra)	481	1930	1860	282	2000	1960
Keleti fél (8c. ábra)	18359	2020	2010	9813	2080	2070
Északkeleti negyed (8d. ábra)	5552	2360	2280	3554	2150	2170
Délkeleti negyed (8e. ábra)	12807	1870	1860	6259	2040	2020

III. táblázat. A látszólagos sűrűség átlagos és leggyakoribb értékei kg/m^3 -ben



8. ábra. Látszólagos sűrűség értékek histogramjai. a—teljes vizsgálati terület; b—nyugati területrész; c—keleti területrész; d—északkeleti területrész; e—délkeleti területrész; f—teljes vizsgálati terület, $\Delta h > 50$ m

Fig. 8. Histograms of apparent density values. a—total surveyed area; b—western part-area; c—eastern part-area; d—north-western part-area; e—south-eastern part-area; f—total surveyed area, $\Delta h > 50$ m

További kísérletet végeztünk annak vizsgálatára, hogy nagyobb minimális magasságkülönbség megválasztása mennyiben befolyásolja a számítások eredményét. 20 méteres minimális magasságkülönbség esetén lényeges változást nem tapasztaltunk. 50 méteres minimális magasságkülönbség mellett (8f. ábra) már egyáltalán nincsenek 1000 kg/m^3 -nél kisebb, illetve 4000 kg/m^3 -nél nagyobb látszólagos sűrűség értékek, és a minták 48%-a három, egyenként 100 kg/m^3 széles sávba esik. Az átlag- és leggyakoribb értékeket a IV. táblázat tartalmazza. (A IV. táblázat első sora természetesen azonos a III. táblázat első sorával.)

jektivitástól mentes, hiszen egységes és csupán a jel/zaj viszony javítását szolgálja. Az előselejtezésen kívül utólagos válogatást is alkalmaztunk, mely tovább javította az eredmények megbízhatóságát. Az utólagos válogatás konkrét paramétereinek megválasztása ugyan szubjektív volt, a reális tartományon kívül eső értékek figyelmen kívül hagyása, mint módszer azonban indokoltnak tekinthető, hiszen az irreális sűrűség érték annak a biztos jele, hogy az adott pontok között jelentős a tényleges Bouguer-anomália különbség, így azok sűrűségszámításra nem alkalmasak.

Az eljárás további előnye, hogy számítógépes

	Minden számított értékre			„Hihető” értékre		
	adatszám	átlag	MFV	adatszám	átlag	MFV
$\Delta h > 10 \text{ m}$	188840	2020	2010	10095	2080	2070
$\Delta h > 20 \text{ m}$	6905	2120	2060	4653	2080	2070
$\Delta h > 50 \text{ m}$	497	2150	2030	407	2060	2030

IV. táblázat. A látszólagos sűrűség átlagos és leggyakoribb értékei kg/m^3 -ben

A táblázat adatai szerint a „hihető” értékekből számított átlagos és leggyakoribb látszólagos sűrűség érték a minimális magasság 20 méterre emelésével nem változott. 50 méteres minimális magasságkülönbség esetén részint drasztikusan csökkent a pontpárok száma, részint jelentősen változott a terület reprezentativitása, hiszen a 497 értékből 440 a délkeleti területre esik. Ennek ellenére a „hihető” értékekből számított átlag- és leggyakoribb értékek csak kismértékben változtak, az előző jóval nagyobb adatszámú mintákhoz képest.

Összefoglalás

A vizsgált eljárások közül csak a látszólagos sűrűség számítás módszere szolgáltatott megbízható adatokat, a további három módszer mindegyike esetleges, indokolatlanul változékony eredményeket adott. Ennek oka feltehetően az, hogy a látszólagos sűrűség számítás módszere a többivel ellentétben lehetővé teszi az adatok gyors, automatikus előselejtezését. Az alkalmazott előselejtezés korrekt és szub-

megvalósítása igen egyszerű.

HIVATKOZÁSOK

- MESKÓ A. 1989: Bevezetés a geofizikába. Tankönyvkiadó, Budapest
- MUDRECOVA E. A. (Ed.) 1981: Gravirazvedka. Nyedra, Moszkva
- NETTLETON L. L. 1939: Determination of density for reduction of gravimeter observations. *Geophysics* 4,176–183
- PARASZNISZ D. Sz. 1965: Principi prikladnoj geofiziki. Mir, Moszkva
- RENNER J., SALÁT P., STEGENA L., SZABADVÁRY L. 1970: Geofizikai kutatási módszerek III. Felszíni geofizika. Tankönyvkiadó, Budapest
- STEINER F. 1990: A geostatiztika alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest
- SZÉNÁS Gy. 1965: A geofizikai térképezés földtani alapjai Magyarországon. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Évkönyve, II. kötet