

# Kétváltozós digitális szűrés gyakorlati alkalmazása Bouguer-anomáliatérképek átalakításában

KOVÁCS FERENC – MESKÓ ATTILA

*A dolgozat a kétváltozós digitális szűrés gyakorlati alkalmazásához szeretne segítséget nyújtani. Meghatározzuk az irányfüggetlen, zérus fázistolású, lehetőleg rövid súlyfüggvényű és simán változó karakterisztikájú szűrők általános átviteli függvényét. Tárgyaljuk az átviteli sáv megválasztásának lehetőségeit, a mintavételezés és a véges hosszúságúra csonkítás hatását. Megadjunk néhány, a gyakorlatban jól bevált súlyfüggvényt.*

*A levezetett szűrők alkalmazásának megkönnyítésére több táblázatot közlünk. Ezek alapján meghatározhatjuk az alkalmazandó szűrő paramétereit, megbecsülhetők az áteresztett, részben áteresztett és eltávolított frekvenciatartományok határai és a digitális súlyfüggvények pontossága.*

*A szűrők felhasználását egy dél-alföldi területről származó Bouguer anomáliatérkép átalakításában mutatjuk be.*

*В работе преследуется цель оказать помощь для практического использования цифровой фильтрации с двумя переменными. Определяются общие частотные характеристики фильтров с независимыми от направления, по возможности короткими весовыми функциями с нулевым фазовым смещением и с плавно изменяющейся характеристикой. Рассматриваются возможности подбора полосы пропускания, а также эффект выборки и усечения. Приводятся некоторые оправдавшиеся на практике весовые функции.*

*Для облегчения применения выведенных фильтров дается ряд таблиц. Они позволяют определить параметры применяемого фильтра, оценить предел пропущенных, частично пропущенных и исключенных частотных диапазонов, а также точность цифровых весовых функций.*

*Применение фильтров иллюстрируется на примере преобразования карты аномалий Буге, полученной в одном из районе работ южной Венгрии.*

*Es ist der Zweck der Arbeit, zur praktischen Anwendung der zweidimensionalen digitalen Filterung eine Beihilfe zu schaffen. Es wird die allgemeine Überföhrungsfunktion der Filter bestimmt, die richtungsunabhängig sind, eine verschwindende Phasenverschiebung aufweisen und eine möglichst kurze Gewichtsfunktion und glatt ablaufende Charakteristik besitzen. Wahlmöglichkeiten des Überföhrungsbandes, sowie der Effekt der Probeentnahme und des Abschneidens (Verkürzung) auf endliche Länge wird behandelt. Einige in der Praxis bewährte Gewichtsfunktionen werden dargestellt.*

*Zur Erleichterung der Anwendung der abgeleiteten Filter werden mehrere Tabellen mitgeteilt, auf Grund welcher die Parameter der anzuwendenden Filter bestimmt und die Grenzen der Gebiete mit durchgelassenen, halbdurchgelassenen und ausgemerzten Frequenzen aufgefunden, sowie die Genauigkeit der digitalen Gewichtsfunktionen angegeben werden können.*

*Die Anwendung der Filter wird durch die praktische Transformation einer Bouguer-Anomalien-Karte aus dem südlichen Teil der Tiefebene beleuchtet.*

## I. Bevezetés

A gravitációs térképek átalakításában alkalmazott matematikai eljárások túlnyomó többsége lineáris és emiatt kétváltozós lineáris szűrésnek tekinthető. Minden lineáris átalakítás egyértelműen jellemezhető kétváltozós átviteli függvényével. Az átviteli függvényből leolvashatók a műveletek alapvető átviteli tulajdonságai, így előnyei és esetleges hibái is. Világossá vált például több, második derivált, illetve analitikai lefelé folytatás számítására alkalmazott képlet irányfüggése [Meskó, 1968, 1969]. Ez a tulajdonság az átalakított térképen az izovonalak sajátos elrendeződéséhez vezet, ami fiktív szerkezeti trendet

hoz létre. Az izovonalak rendeződése ugyanis a térképre fektetett rácshálózat irányaitól függ és nincs kapcsolatban semmiféle geológiai (geofizikai) realitással.

A második derivált és analitikai lefelé folytatás számításának elvi művelete túlzottan erősíti a nagyfrekvenciás tartományt. Ez a legtöbb, gyakorlatban előforduló esetben hátrányos, ugyanis a nagyfrekvenciás tartományon a legjelentősebb a mérési hibák, felszínközeli – a kutatás szempontjából érdektelen – hatók és a szükséges nagyobb mintavételi távolság torzító hatása. A nagyfrekvenciás tartomány túlzott erősítése fiktív anomáliák kialakítását eredményezi. Ezt a tényt a gravitációs értelmezéssel foglalkozó geofizikusok már régóta ösztönösen felismerték és emiatt a felsorolt műveletek (második vertikális derivált) alkalmazása előtt, vagy szükség esetén a művelet után is simítást alkalmaztak [pl. Grant-West, 1965]. Bizonyos esetekben [Clarke, 1969] simítás nélkül a térkép meg sem rajzolható. Ugyanígy – gyakorlati tapasztalatok birtokában – a szakemberek kerültek az irányfüggést mutató formulák, pl. a Henderson–Zietz-féle képlet alkalmazását.

A különböző képletek átviteli függvényeinek vizsgálatával kimutatható volt [Meskó, 1967 és 1968], hogy a gyakorlatban jól bevált képletek éppen azok, melyek az elvi művelet hatását rosszul közelítik, de emiatt a nagyfrekvenciás tartományt nem emelik túlságosan ki.

Mindezekből levonható volt az a következtetés, hogy célszerű az eddigi rögzített és sokszor előnytelen karakterisztikájú képletek helyett szűrősorozatokat tervezni és alkalmazni. A szűrők működése ugyanis szemléletes és jól nyomon követhető. A szűrők karakterisztikái néhány általános jellegű követelmény határain belül rugalmasan változtathatók és teret adnak az adott kutatási területen legjobb eredményt adó átalakítás kikísérletezéséhez.

A következőkben leírjuk a szűrők tervezésében alkalmazott gondolatmenetet, adott feltételek esetén a szűrők kiválasztásának módszerét, végül egy gyakorlati példát mutatunk be.

## 2. A szűrők tervezése

### 2.1 A használandó átviteli függvény alakja

A következő gondolatmenetben feltételezzük a kétváltozós digitális szűrés alapelveinek ismeretét. [Megtalálható pl. Meskó 1970.]

A következő általános követelményeket írjuk elő:

- a) Az átvitel legyen irányfüggetlen.
- b) A szűrés legyen zérus fázistolású.
- c) Az együtthatórendszer (azaz a digitális súlyfüggvény) legyen a lehető legrövidebb. Erre két okból is szükség van. Egyrészt az átalakított térkép méretei jelentősen csökkennek, ha a súlyfüggvény nagyméretű, másrészt, ha a súlyfüggvény méretei növekszenek, arányosan nő a műveletek száma és ez a gépidőt és a számítási költségeket is növeli.

d) Az amplitúdó-karakterisztika legyen a frekvencia simán változó függvénye, mely  $0$  és  $1$  közötti értékeket vesz fel.

A felülvágó szűrőkkel regionális térképeket, alulvágókkal és sávszűrőkkel reziduális térképeket számítunk. A regionális szűrők tervezésével foglalkozunk részletesen, mert a további két típus a regionális szűrőkkel vezethető le.

A regionális szűrőnek a művelet természetéből következően változatlanul kell átvinnie a zérus frekvenciát és az ahhoz közeli alacsony frekvenciákat, illetve el kell távolítani a nagyfrekvenciás tartományt, sőt szükség esetén a közepes frekvenciák egyrészét is. Ezenkívül – természetesen – ki kell elégítenie a fejezet elején említett négy követelményt is.

Az *a)* követelmény teljesül, ha az átviteli függvény körszimmetrikus, azaz ha

$$S(\omega, \psi) = S(\varrho), \quad (1)$$

ahol  $\varrho$  a radiális körfrekvencia, melynek kapcsolata az  $\omega$  és  $\psi$  tengelyek menti körfrekvenciával a következő:

$$\varrho = \sqrt{\omega^2 + \psi^2}. \quad (2)$$

A körszimmetrikus átviteli függvény és a hozzá tartozó súlyfüggvény közötti kapcsolat zérusrendű Hankel-transzformációval írható le:

$$S(\varrho) = 2\pi \int_0^{\infty} rs(r)J_0(\varrho r)dr, \quad (3)$$

$$s(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \varrho S(\varrho)J_0(\varrho r)d\varrho, \quad (4)$$

ahol  $J_0(\varrho r)$  zérusrendű Bessel-függvény.

A *b)* követelmény teljesül, ha az átviteli függvény valós értékű és mindeütt pozitív.

A *c)* és *d)* követelmény nélkül nyilvánvaló volna ideális, kétváltozós, körszimmetrikus felülvágó használata. Ennek átviteli függvénye:

$$\begin{aligned} S(\varrho) &= 1 \text{ ha } \varrho < \varrho_c, \\ &= 0 \text{ ha } \varrho > \varrho_c, \end{aligned} \quad (5)$$

ahol  $\varrho_c$  a levágási frekvencia.

A megfelelő súlyfüggvény nehézség nélkül meghatározható: a (4) képlet alkalmazásával kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} S(r) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \varrho S(\varrho)J_0(\varrho r)d\varrho = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\varrho_c} \varrho J_0(\varrho r)d\varrho = \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\varrho}{r} J_1(\varrho r) \right]_0^{\varrho_c} = \frac{\varrho_c J_1(\varrho_c r)}{2\pi r}. \end{aligned} \quad (6)$$

Ez a súlyfüggvény azonban nagyon lassan csökken. Igen nagyméretű együttható-rendszerre volna szükség, hogy az előírt ideális átvitelt a tényleges művelet jól közelítse. A levágási frekvencia értékétől függően  $30 \times 30$ , vagy annál is nagyobb együttható-rendszert kellene alkalmazni, ami nyilvánvalóan nem gazdaságos. Az ideális felülvágó szűrők másik előnytelen tulajdonsága, hogy a tényleges átviteli függvényben a levágási frekvencia közelében ún. Gibbs-jelenség lép fel. Ez azt jelenti, hogy akármilyen nagy együtthatórendszer

esetén is a levágási frekvencia előtt és után, tehát a függvény szakadási pontja környezetében „tüllövés” jelenik meg.

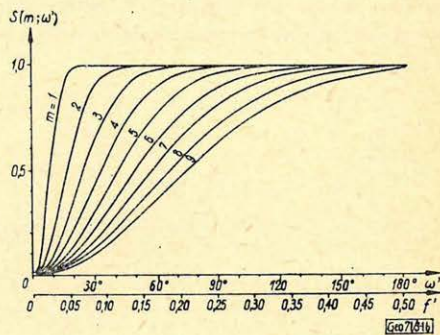
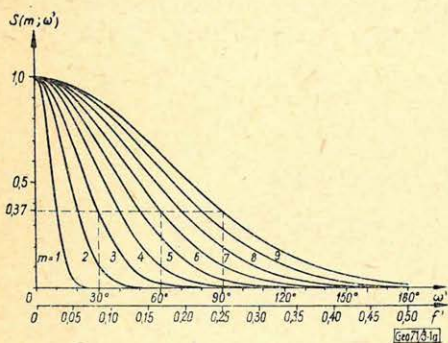
Emiatt nem célszerű az ideális felülvágó alkalmazása. Olyan átviteli függvényre van szükség, mely simán változik és súlyfüggvénye adott levágási pont (pl. a  $-3dB$ -es pont) rögzítése mellett a lehető legrövidebb.

Az időtartományban működő egyváltozós szűrők elméletéből ismeretes, hogy a jel időbeli hosszúságának és a jel sávzélességének szorzata az összes lehető jelalakok között a Gauss-görbe alakú jel esetén minimális [Robinson, 1967]. Esetünkben a jel hosszúsága a kétváltozós súlyfüggvény méretének, a jel sávzélessége az átviteli függvény szélességének felel meg. Adott szélességű, tetszőleges alakú átviteli függvényhez tartozó súlyfüggvények között az a legrövidebb, mely Gauss-görbe alakú. (Természetesen ekkor az átviteli függvény alakja rögzítetté válik és az is Gauss-görbe alakú lesz.)

Ha az átviteli függvény, mint a  $\varrho$  változó függvénye, Gauss-görbe alakú, a  $d$ ) követelmény is automatikusan kielégül. Az

$$S(\varrho) = e^{-k^2\varrho^2} \quad (7)$$

képlettel megadott átviteli függvény tehát minden követelményt kielégít. Értéke zérus frekvenciánál egységnyi és a  $k$  paraméter helyes választásával elérhető, hogy az alacsonyfrekvenciás tartomány kijelölt részét is még csak csekély mértékben módosítsa. A levágási meredekség – ahogyan ez a későbbi részletesebben tárgyalt *1a*, *1b* ábrákból világosan kitűnik – kicsiny. Az átengedett tartományt hosszan követi a „részben átengedett” komponensek tartománya. A „teljesen eltávolított” tartomány aránylag távol van az átengedett sávától. Az egyes tartományok határa különböző definíciókkal adható meg. Mindegyik



1. ábra. Az  $m = 1, 2, \dots, 9$  paraméterű szűrők átviteli függvénye

a) regionális szűrők, b) reziduál szűrők.

A kétváltozós elvi átviteli függvényből az origón átmenő, a frekvenciasíkra merőleges síkkal kimetszett görbék

Fig. 1. Частотные характеристики фильтров с параметрами  $m = 1, 2, \dots, 9$

a) фильтры региональных аномалий б) фильтры остаточных аномалий

Кривые, высеченные из теоретической частотной характеристики с двумя переменными, плоскостью, проходящей через начало координат и параллельной плоскости частот

Fig. 1. Übertragungsfunktionen der Filter mit den

Parameterwerten  $m = 1, \dots, m = 9$

a) regionale Filter, b) Residualfilter

Die Kurven werden aus den theoretischen zweidimensionalen Übertragungsfunktionen durch eine Ebene ausgeschnitten, die auf die Frequenzebene senkrecht steht

definíció többé-kevésbé önkényes. A kérdés részletes vizsgálatára a 2.2. pontban még visszatérünk.

Az átviteli függvényekhez tartozó súlyfüggvények inverz Hankel-transzformációval kaphatók:

$$s(\varrho) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \varrho e^{-k^2 \varrho^2} J_0(\varrho r) d\varrho = \frac{1}{4\pi k^2} e^{-\left(\frac{r}{2k}\right)^2} \quad (8)$$

A súlyfüggvény szintén forgásszimmetrikus, olyan forgásszimmetrikus felülettel ábrázolható, melynek metszete minden – az origón áthaladó – frekvenciasíkra merőleges síkkal Gauss-görbe.

Vezessük be a  $\varrho'$ ,  $k'$ ,  $\mu$  dimenziótlan változókat a következő definíciókkal:

$$\varrho' = \varrho s, \quad k' = k/s, \quad \mu = r/s \quad (9)$$

Ezekkel az átviteli függvény és a súlyfüggvény így alakul:

$$S(\varrho', k') = e^{-(k'\varrho')^2}, \quad (10)$$

$$s(\mu, k') = \frac{S^2}{4\pi k'^2} e^{-\left(\frac{\mu}{2k'}\right)^2} \quad (11)$$

## 2.2. Az átviteli sáv definíciói

Egy előző publikációban [Meskó, 1966] az egyszerűség kedvéért úgy definiáltuk az áteresztett sávot, mint a  $\varrho'$  dimenziótlan, radiális frekvenciaváltozó azon tartományát, ahol az átviteli függvény értéke nagyobb, mint  $1/e$ . A definíció szerint az átviteli sáv a  $\varrho' = 0$  és  $\varrho' = 1/k'$  frekvenciák közötti rész, mert

$$S(\varrho' = 0) = 1$$

és

$$S(\varrho') = e^{-(k'\varrho')^2} \cong 1/e, \text{ ha } \varrho' \cong 1/k'. \quad (12)$$

Ha a  $\varrho'$  értékét fokokban fejezzük ki és a  $k'$  paraméterre vonatkozóan a

$$k' = \frac{1}{m \cdot 10^\circ} \quad (13)$$

választással élünk, olyan szűrősorozatra jutunk, melynél az átviteli sáv alsó határa zérus, felső határa pedig  $m \cdot 10^\circ$ -nál helyezkedik el.

Ha a  $\varrho'$  változót ívmértékben mérjük, a megfelelő választás

$$k' = \frac{18}{m\pi} \quad (14)$$

A két definíció ekvivalens, mert ez utóbbi szerint a levágási frekvenciák az  $m \cdot \frac{\pi}{18}$  értékeknél helyezkednek el és  $\pi/18$  fokokban kifejezett értéke  $10^\circ$ .

Az  $m$  paraméter 1, 2, ... 9 értékeire vonatkozó regionális szűrők átviteli függvényeit az 1a ábra mutatja be.

A fokokban kifejezett relatív körfrekvencia helyett használhatjuk az  $f' = \varrho'(^{\circ})/360^{\circ}$  dimenziótlan frekvenciát vagy a még szemléletesebb jelentésű állomástávolság egységeiben mért hullámhosszt:  $\lambda' \equiv \lambda/s = 360^{\circ} \varrho' (^{\circ})$ . A három változó egymáshoz tartozó értékeit az 1. táblázatban adjuk meg.

1. táblázat, Таблица, Tabelle

Különböző változók kapcsolata

$\varrho'$  dimenziótlan körfrekvencia (fokban mérve)  
 $f'$  dimenziótlan frekvencia  
 $\lambda'$  dimenziótlan hullámhossz

$\varrho'^{\circ}$	$f'$	$\lambda'$
0	0,0	$\infty$
10	0,0278	36,0
20	0,0556	18,0
30	0,0833	12,0
40	0,1111	9,0
50	0,1389	7,2
60	0,1667	6,0
70	0,1945	5,1429
80	0,2222	4,5
90	0,2500	4,0
100	0,2778	3,6
110	0,3056	3,2727
120	0,3334	3,0
130	0,3611	2,7792
140	0,3889	2,5714
150	0,4167	2,4
160	0,4445	2,25
170	0,4723	2,12
180	0,5000	2,0

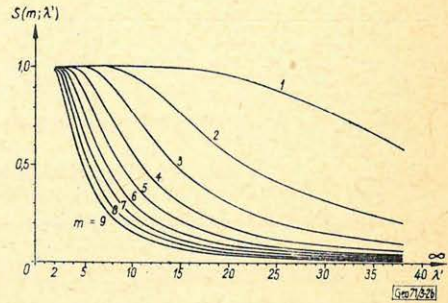
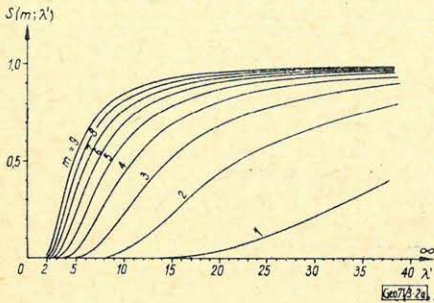
Néhány regionális szűrő átviteli függvényeit a  $\lambda' \equiv \lambda/s$  dimenziótlan hullámhossz függvényében a 2a ábrán mutatjuk be.

Az átviteli sáv határai is kifejezhetők a dimenziótlan hullámhosszal. A  $\varrho' = 0^{\circ}$  megfelel a  $\lambda = \infty$  értéknek, míg a  $\varrho' = m \cdot 10^{\circ}$ -hoz tartozó dimenziótlan hullámhossz

$$\lambda' = \frac{360^{\circ}}{m \cdot 10^{\circ}} = \frac{36}{m}. \quad (15)$$

Az  $m$  paraméterű szűrő tehát közelítőleg eltávolítja (pontosabban fogalmazva, kisebb mint  $1/e \approx 0,37$  értékre csökkenti) az eredeti térképnek  $36/m$  értéknél kisebb relatív hullámhosszúságú komponenseit. Megtartja (pontosabban fogalmazva valamilyen  $1$  és közelítőleg  $0,37$  közötti számmal szorozza) azokat a komponenseket, melyek relatív hullámhossza nagyobb, mint  $36/m$ .

(Például az  $m = 4$  paraméterű szűrő a  $\lambda' < 9$  komponenseket, ill. az  $m = 3$  paraméterű szűrő a  $\lambda' < 12$  hullámhosszúságú komponenseket távolítja el).



2. ábra. Elvi átviteli függvények a  $\lambda'$  dimenziótlan hullámhossz függvényében ábrázolva:  
a) regionális szűrők, b) reziduál szűrők

Fig. 2. Теоретические частотные характеристики в функции от длины безразмерной волны  
a) фильтры региональных аномалий б) фильтры остаточных аномалий

Fig. 2. Theoretische Überföhrungsfunktionen dargestellt in Abhängigkeit der dimensionslosen Wellenlänge  
a) regionale Filter b) Residualfilter

Az átviteli sáv fenti önkényes definíciója csak egy a lehetséges definíciók közül. Nem is ad pontos képet a szűrő működéséről, mert csak átengedett és eltávolított sávot különböztet meg. A levágási meredekség azonban csekély és emiatt pontosabb képet kapunk, ha átengedett és eltávolított sávon kívül megkülönböztetünk részben eltávolított sávot is. Az előző definíciót azért ismertettük, mert könnyen megjegyezhető, előzetes tájékozódásra alkalmas, annak ellenére, hogy tulajdonképpen a részben eltávolított sáv központját adja meg.

A szűrőelméletben szokásosabb az átviteli sáv alsó határát az ún.  $-3dB$ -es ponttal definiálni. Ez az a  $q'_1$  érték, melynél az átvitel a maximális – esetünkben egységnyi – értékről  $-3dB$ -re, azaz kb.  $0,7$ -re csökken. Az így definiált dimenziótlan levágási frekvenciák ( $q'_1$ ), illetve a megfelelő dimenziótlan levágási hullámhosszak ( $\lambda_1$ ) és az  $m$  paraméter kapcsolatát a 2. táblázat adja meg.

Megjegyezzük, hogy eléggé széles határok között tetszőlegesen választott  $-3dB$ -es pontú szűrőt számíthatunk. Az, hogy szűrősorozatot határozzunk meg, kizárólag kényelmi szempontokat szolgál. Nyilván sokkal egyszerűbb az előzetesen elkészített együttható-sorozatból a közelítőleg megfelelő levágási pontú szűrőt kiválasztani és alkalmazni, mint előzőleg a súlyfüggvényt külön meghatározni. A kiválasztás a 2. táblázat felhasználásával történhet. Az  $m$  paraméter  $0,5$  egységenként változtatott értékei eléggé sűrű sorozatot alkotnak. Ha például az állomás-távolság  $1\text{ km}$  és a regionális határról feltételezzük, hogy jellemzésére a  $\lambda = 15\text{ km}$  vagy annál nagyobb hullámhosszúságú komponensekre

van szükség, a  $\lambda'_1$  értéke  $\lambda'_1 = 15 \text{ km}/1 = 15$  és az  $m = 36/\lambda' = 4,0$  paraméterű szűrőt választjuk. Kísérleti számítások mutatták, hogy a paraméter  $0,5$  egységgel történő változtatása az átalakított térképen csak kis módosulást jelent. A közelíteni kívánt levágási pontú szűrő és a szűrősorozat hozzá legközelebb álló szűrője között pedig nyilván még kisebb a különbség.

## 2. táblázat, Таблица, Tabelle

### Az átviteli sáv alsó határai

(a - 3dB-es pont helye)

A szűrő átengedi azokat a komponenseket, melyek frekvenciája kisebb a táblázatbeli értéknél, vagy hullámhossza nagyobb a táblázatban megadott értéknél

Paraméter $m$	Dimenziótlan levágási körfrekvencia $\rho'_1$	Dimenziótlan levágási hullámhossz $\lambda'_1$
1,0	5,8	62,1
1,5	8,7	41,5
2,0	11,4	31,6
2,5	14,7	24,5
3,0	17,6	20,5
3,5	20,5	17,6
4,0	23,5	15,4
4,5	26,4	13,6
5,0	29,4	12,3
5,5	32,3	11,1
6,0	35,3	10,2
6,5	38,2	9,4
7,0	41,2	8,7
7,5	44,1	8,2
8,0	47,1	7,6
8,5	50,0	7,2
9,1	52,9	6,8

Említettük, hogy a „részben eltávolított” és „teljesen eltávolított” tartomány határait is különböző, többé-kevésbé önkényes definíciók adhatók. Szemléletes képet kapunk a szűrő működéséről, ha azt adjuk meg, milyen  $\rho'$  értékeknél csökken az erősítés  $0,1$ ,  $0,01$  illetve  $0,001$  alá. A teljesen eltávolított tartomány alsó határának a -3dB-es pontot, felső határának ezen értékek bármelyikét tekinthetjük.

A 3. táblázatban összefoglaltuk ezeket az értékeket, mint az  $m$  paraméter függvényeit.

### 2.3 Együtthatósorozatok. Pontossági vizsgálatok

A (11) képlettel megadott súlyfüggvény folytonos és végtelen kiterjedésű. Gyakorlati alkalmazásához mintavételezni és csonkítani kell. A 4. táblázatban példaként az  $m = 2,5$ ,  $m = 3,0$  és  $m = 4,0$  paraméterű szűrők együtthatósorozatait közöljük. Ezek az együtthatósorozatok az  $s = 1 \text{ km}$  mintavételi távolságú rácshálózatokra alkalmazva az eddigi kutatási területeken jól beváltak (1. még a 3. részt).



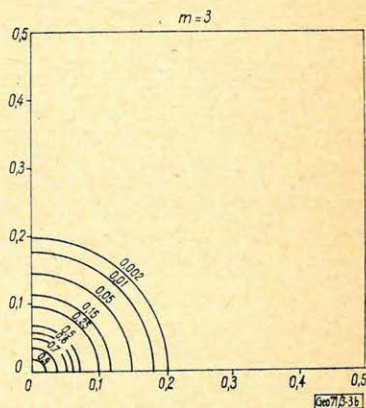
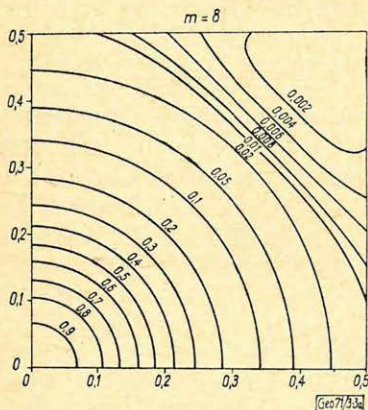
Az együttthatórendszerek szimmetrikusak. Emiatt elegendő a teljes együttthatórendszer egy részét felírni. Az alkalmazás előtt természetesen a vonatkoztatási pontra szimmetrikusan kiegészítendő. Számításokkal meggyőződünk arról, hogy a mintavételezett és véges hosszúságúra (sőt aránylag kisméretűre) csonkított és a gyakorlati feldolgozásban ténylegesen alkalmazott együttthatórendszer átviteli függvénye az elvi átviteli függvényt jól közelíti. Néhány tényleges együttthatórendszerből számított kétváltozós átviteli függvényt a 3a és 3b ábrán láthatunk. A tényleges átviteli függvények is valóban körszim-

3. táblázat, Таблица, Tabelle

Az átviteli függvények csökkenésének jellemzése

$\omega'_\alpha$  azt a, fokokban kifejezett, dimenziótlan frekvenciát adja meg, melynél az amplitúdókarakterisztika értéke  $\alpha$

Paraméter $m$	$\omega'_{0,1}$	$\omega'_{0,01}$	$\omega'_{0,001}$
1,0	15,2	21,5	26,3
1,5	22,7	32,2	39,4
2,0	30,3	42,9	52,6
2,5	37,9	53,7	65,7
3,0	45,5	64,4	78,9
3,5	53,1	75,1	92,0
4,0	60,7	85,9	105,1
4,5	68,2	96,6	118,3
5,0	75,8	107,4	131,4
5,5	83,4	118,1	144,6
6,0	91,0	118,1	157,7
6,5	98,6	139,6	170,9
7,0	106,2	150,3	
7,5	113,7	161,0	
8,0	121,3	171,8	
8,5	128,9		
9,0	136,5		



3. ábra. Tényleges (digitalizált és csonkított) együttthatórendszerből meghatározott kétváltozós átviteli függvények

Fig. 3. Частотные характеристики с двумя переменными, определенные по системе фактических коэффициентов

Fig. 3. Zweidimensionale Übertragungsfunktionen, die aus einem (digitalisierten und abgeschnittenen) Koeffizientensystem bestimmt wurden

## 4. táblázat, Таблица, Tabelle

 $m = 2,5$ 

$\frac{x}{s} \setminus \frac{y}{s}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0152	0,0144	0,0125	0,0099	0,0071	0,0046	0,0027	0,0015	0,0007	0,0003	0,0001
1	0,0144	0,0138	0,0119	0,0094	0,0067	0,0044	0,0026	0,0014	0,0007	0,0003	0,0001
2	0,0125	0,0119	0,0104	0,0082	0,0058	0,0038	0,0023	0,0012	0,0006	0,0003	0,0001
3	0,0099	0,0094	0,0082	0,0064	0,0046	0,0030	0,0018	0,0010	0,0005	0,0002	0,0001
4	0,0071	0,0067	0,0058	0,0046	0,0033	0,0022	0,0013	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001
5	0,0046	0,0044	0,0038	0,0030	0,0022	0,0014	0,0008	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001
6	0,0027	0,0026	0,0023	0,0018	0,0013	0,0008	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001	
7	0,0015	0,0014	0,0012	0,0010	0,0007	0,0004	0,0003	0,0001	0,0001		
8	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001			
9	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001				
10	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001						

## 4. táblázat, Таблица, Tabelle

 $m = 3,0$ 

$\frac{x}{s} \setminus \frac{y}{s}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0218	0,0204	0,0166	0,0118	0,0073	0,0039	0,0019	0,0008	0,0003	0,0001
1	0,0204	0,0190	0,0155	0,0110	0,0068	0,0037	0,0017	0,0007	0,0003	0,0001
2	0,0166	0,0155	0,0126	0,0090	0,0055	0,0030	0,0014	0,0006	0,0002	0,0001
3	0,0118	0,0110	0,0090	0,0064	0,0039	0,0021	0,0010	0,0004	0,0001	
4	0,0073	0,0068	0,0055	0,0039	0,0024	0,0013	0,0006	0,0003	0,0001	
5	0,0039	0,0037	0,0030	0,0021	0,0013	0,0007	0,0003	0,0001		
6	0,0019	0,0017	0,0014	0,0010	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001		
7	0,0008	0,0007	0,0006	0,0004	0,0003	0,0001	0,0001			
8	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001					
9	0,0001	0,0001	0,0001							

## 4. táblázat, Таблица, Tabelle

 $m = 4,0$ 

$\frac{x}{s} \setminus \frac{y}{s}$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0,0388	0,0343	0,0238	0,0130	0,0055	0,0018	0,0005	0,0001
1	0,0343	0,0304	0,0211	0,0115	0,0049	0,0016	0,0004	0,0001
2	0,0238	0,0211	0,0146	0,0080	0,0034	0,0011	0,0003	0,0001
3	0,0130	0,0115	0,0080	0,0043	0,0018	0,0006	0,0002	
4	0,0055	0,0049	0,0034	0,0018	0,0008	0,0003	0,0001	
5	0,0018	0,0016	0,0011	0,0006	0,0003	0,0001		
6	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001			
7	0,0001	0,0001	0,0001					

metrikusak, alakjuk is igen jó közelítéssel Gauss-görbe a frekvenciasíkra merőleges metszetben. A részletes numerikus analízis azt mutatta, hogy az eltérés sehol sem nagyobb 1%-nál, ha  $m = 8$ .

Az  $m$  paraméter változtatásának határait a következő gondolatmenettel jelölhetjük ki.

a) A különböző paraméterekhez tartozó teljes (azaz szimmetrikussá kiegészített) együtthatórendszerek méreteit az 5. táblázatban adjuk meg. Az adatok arra az esetre vonatkoznak, amikor a tizedespont utáni negyedik jegyre kerekítünk és az együtthatórendszerek határait az utolsó, negyedik helyen még értékes jegyet tartalmazó együtthatók jelölik ki.

5. táblázat, Таблица, Tabelle

A szimmetrikussá kiegészített  
(teljes) együtthatósorozatok  
méretei

Paraméter	Méret
1,5	33
2,0	27
2,5	21
3,0	19
3,5	17
4,0	15
4,5	13
5,0	13
5,5	11
6,0	11
6,5	9
7,0	9
7,5	9
8,0	9
8,5	7
9,0	7

A súlyfüggvények körszimmetrikus voltából következik és a 4. táblázatból is világosan látható, hogy a méret a vonatkoztatási ponthoz tartozó sorban és oszlopban levő elemek számát adja meg. Más sorokban és oszlopokban a referenciaponttól távolodva egyre kevesebb együttható szerepel.

Már az  $m = 1,5$  vagy  $m = 2$  paraméterekhez tartozó együtthatórendszerek is igen nagyméretűek. Ez a méret az alkalmazhatóság határán mozog. Az  $m$  paraméter alsó határa tehát közelítőleg  $m = 1,5$ .

b) Az  $m$  értékének a súlyfüggvény mintavételezésénél fellépő hibák szabnak felső határt. A hiba abból adódik, hogy az elvi átviteli függvény,  $\exp [-(k' \varrho')^2]$  – azaz a mintavételezendő súlyfüggvény Fourier transzformáltja – nem zérus az  $1/2_s$  értéken túl. Emiatt a  $\varrho_f < \frac{1}{2_s}$  mintavételi törvénynek elvileg nem tehetünk eleget. A spektrum sehol sem lesz zérus, aliasing mindenképpen fellép. Megmutatjuk azonban, hogy a torzulás  $m < 9$  esetén elhanyagolhatóan kicsiny.

A torzulás nyilván a Nyquist intervallum határán a legnagyobb. Az eredeti értéket torzító járulék itt a következő összeg:

$$e^{-k^2 \left(\frac{1}{2s}\right)^2} + e^{-k^2 \left(\frac{3}{2s}\right)^2} + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\left(\frac{k}{2s}\right)^2 (2i+1)^2}$$

A kitevőben a  $\left(\frac{k}{2s}\right)^2$  tényező a páratlan számok négyzeteivel szorozva szerepel. Az összeget felülről becsüljük, ha az összegezést a páratlan számok négyzetei helyett az összes páratlan számokra végezzük el. Másrészt a hiba értékének alsó határa az összeg egyetlen, első tagja, azaz  $\exp\left[-\left(\frac{k}{2s}\right)^2\right]$ . Írjuk most be a  $k$  helyére az  $m$  paraméterrel kifejezett értékét:

$$k = k's = \frac{1}{m} \left(\frac{18}{\pi}\right) s.$$

Továbbá jelöljük a hibát, mely nyilvánvalóan az  $m$  paraméter függvénye lesz  $\delta(m)$ -mel. Akkor a fenti becslések alakja:

$$\begin{aligned} e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2} < \delta(m) < e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2} \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2 (2i+1)^2} = \\ = e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2} \frac{1}{1 - e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2 \cdot 2}} = \frac{1}{2} \frac{2}{e^{\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2} - e^{-\left(\frac{9}{m\pi}\right)^2}} = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{sh} \left(\frac{9}{m\pi}\right)^2 \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (16)$$

A hibák alsó és felső korlátait különböző, 5,5 és 10,0 közötti értékekre a 6. táblázatban adjuk meg. A hiba  $m = 5,5$  esetén kisebb 0,0001%-nál, emiatt a táblázatot ebben az irányban nem folytattuk. Látható, hogy  $m = 8,0$  után a hiba meghaladja az 1%-ot. Az elfogadhatóság határa közelítőleg  $m = 9,0$ .

6. táblázat, Таблица, Tabelle

A folytonos súlyfüggvény mintavételezésénél elkövetett hiba alsó és felső korlátai

Paraméter m	Alsó korlát %	Felső korlát %
5,5	0,0002	0,0006
6,0	0,0123	0,0369
6,5	0,0467	0,1401
7,0	0,1347	0,4031
7,5	0,3151	0,9453
8,0	0,6346	1,9038
8,5	1,1333	3,3999
9,0	1,8316	5,4960
9,5	2,7625	8,2808
10,0	3,9164	11,7612

## 2.4. Felülvágó és sávszűrő sorozatok

A regionális komponenst az eredeti térképből kivonva reziduál-térképhez jutunk. Ennek megfelelően a reziduál-térképek számítására alkalmazott alulvágó szűrők átviteli függvényei a felülvágó (regionális) szűrők átviteli függvényeiből az

$$S_{rez}(Q'; m) = 1 - S_{reg}(Q'; m) \quad (17)$$

képlettel állíthatók elő. A reziduál-térképek számítására alkalmas szűrősorozat átviteli függvényeit a dimenziótlan frekvencia függvényében az *1b ábrán* mutatjuk be. A *2b ábrán* ugyanezek a szűrők láthatók, de itt független változónak a dimenziótlan hullámhosszat választottuk – szemléletesebb jelentése miatt.

Az alulvágó (reziduál) szűrők súlyfüggvényeit hasonlóképpen a megfelelő felülvágó (regionális) szűrő súlyfüggvényeiből kapjuk. Jelöljük a regionális szűrő digitális súlyfüggvényének adatait  $c_{ik}$ -val. Akkor a reziduál-szűrő vonatkoztatási ponthoz ( $x/s = 0$ ,  $y/s = 0$ ) tartozó együtthatója:

$$c_{00}^{rez} = 1 - c_{00}$$

a további együtthatók pedig:

$$c_{ik}^{rez} = -c_{ik}, \quad (18)$$

Sávszűrőt kapunk, ha két különböző regionális szűrő különbségét képezzük. Természetesen ügyelni kell arra, hogy a különbségképzésben pozitív előjellel a nagyobb paraméterű szűrőt szerepeltessük:

$$S(Q'; m_1; m_2) = S(Q'; m_1) - S(Q'; m_2), \quad m_1 > m_2 \quad (19)$$

A sávszűrő közelítőleg a két levágási frekvencia közötti sávot ereszti át. A közelítés oka az, hogy a szűrő meredeksége csekély, illetve a két szűrő meredeksége eltér egymástól.

## 3. A szűrők gyakorlati alkalmazása

### 3.1. A mérési terület. Mintavételezési problémák

Az OKGT GKŰ Gravitációs Osztályán több kutatásra kijelölt terület gravitációs anomális-térképének felbontását végeztük el a bemutatott szűrősorozattal. Itt most egy dél-alföldi területrészen végzett vizsgálat eredményeit mutatjuk be. Meg kell jegyeznünk, hogy céljainknak, illetve azoknak a követelményeknek, melyeket a szűrési művelettől elvárunk, az  $m = 3$  és  $m = 4$  paraméterű szűrő felel meg. Az  $m = 2$  és  $m = 9$  paraméterű szűrővel kapott eredményeket csak a szűrősorozat hatásának érzékeltetésére mutatjuk be. Másik célunk az volt, hogy felhívjuk a figyelmet a megfelelő szűrő kiválasztásának fontosságára.

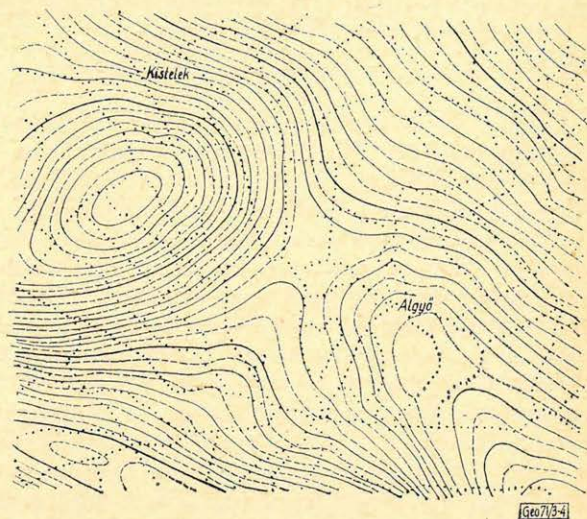
A vizsgált anomália-térkép a MAELGI-ben készült az 1962-ben végzett graviméter-mérések alapján. Az alaptérkép izovonalainak lefutását, valamint a mérési állomások helyeit (-tal jelölve) a *4. ábra* szemlélteti. A mérési állomások telepítése 500 méteres állomásközzel utak mentén történt. Emiatt területi eloszlásuk kedvezőtlen. Mint ahogyan az a *4. ábrán* látható, vannak a térképen olyan, viszonylag nagy kiterjedésű területrészek ( $5 - 30 \text{ km}^2$ ), melyeken egyetlen állomás sem található. Ezekben a területeken a térképen ábrázolt függvény

és a tényleges gravitációs tér kapcsolatáról valójában semmit sem tudunk. A mérés csak a mérési vonalak mentén (azaz az utak mentén) ad információt a térről, az 500 méter állomásköznök megfelelő spektrumszélességig. Egyéb helyeken – a „*legsímább felület*” megszerkesztése következtében – a térkép spektruma az eredeti térképnél keskenyebb.

4. ábra. Bouguer-anomália térkép  
 ∴ állomás

Фиг. 4. Карта аномалий Буге  
 ∴ – пункты наблюдений

Fig. 4. Bouguer-Anomalienkarte  
 ∴ : Beobachtungstellen



A vizsgált területen az átlagos állomáspon-t-sűrűség  $0,95 \text{ pont/km}^2$ , azaz a területen telepített mérési állomások száma alig kevesebb, mint az  $1 \text{ km}$  rács-állandójú szabályos hálózatban történő mérésnél felmerülő igény.

Mindezek figyelembevételével a térképet alkalmasnak tartottuk arra, hogy alulvágó és felülvágó szűrősorozattal olyan reziduális és regionális térképre bontsuk, amelyek további kutatások tervezéséhez hasznos információkat adhatnak.

A térképet digitalizálni kellett, azaz gépi számításra alkalmas adatrendszerré kellett átalakítani. A digitalizálásnál alapkövetelmény a helyes mintavételi távolság alkalmazása. A mintavételi törvény értelmében a mintavételi távolság és a tér felső határfrekvenciája között fenn kell állnia a

$$\varrho_f < \frac{1}{2s}$$

egyenlőtlenségnek.

A helyes mintavételi távolság megállapításához általában a spektrum ismerete szükséges. Úgy járhatunk el a legegyszerűbben, hogy néhány olyan szelvény mentén végzünk Fourier-analízist, melyeken a spektrum várhatóan a legszélesebb lesz, azaz: a leggyorsabb változásokon átfektetett szelvényt vizsgáljuk meg. A kísérleti szelvény (szelvények) mentén a lehető legsűrűbben olvassuk ki az adatokat, ezzel biztosítva, hogy a mintavételi távolság az előírt felsőhatárnál kisebb legyen. Ha a mintavételi távolság eléggé kicsiny, az analízis eredményeként kapott spektrum a Nyquist-intervallum jelentős részén, a felső határ közelében pedig okvetlenül jó közelítéssal zérus. A zajok és a térkép véges méretei miatt a zérus érték pontosan nem érhető el. A térkép tényleges felső határfrekvenciájának a zajszint és a becsült tényleges spektrum metszés-

pontját tekintjük. Jelen vizsgálatban a zaj amplitúdóját  $\pm 0,1$  *mgal*-nak tekintettük. A spektrum meghatározását nem tartottuk szükségesnek, mivel a térképen távolságméréssel meggyőződünk arról, hogy a zajszintből kiemelkedő, méréssel alátámasztott változások hullámhosszai  $2,5$  *km*-nél kezdődnek. Ennek alapján a mintavételi távolságot  $1$  *km*-nek választottuk. Így a felső határfrekvencia a Nyquist-intervallumon belül a  $0,4$  relatív frekvenciához került.

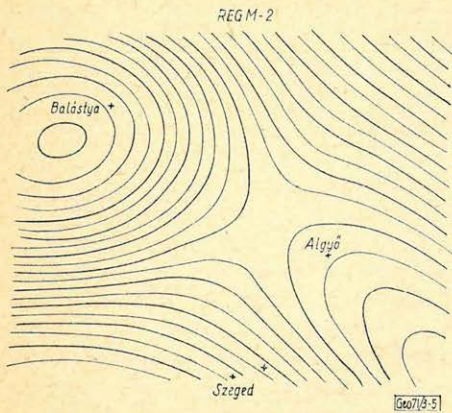
### 3.2. Az alkalmazott szűrők kiválasztása

Az 1. és 2. ábrákon bemutatott szűrősorozat 9 regionális szűrő átviteli függvényéből áll. Rendelkezőnk továbbá az  $1,5$ ;  $2,5$ ; ...  $8,5$  paraméterű regionális szűrőkkel is. Nyilvánvaló, hogy célszerűtlen és gazdaságtalan a felbontást az összes (szám szerint  $17$  regionális,  $17$  reziduális és ezek kombinálásával kapható több, mint  $280$ ) sávszűrővel elvégezni. Erre azonban nincs is szükség. Akár a spektrum ismerete, akár a feldolgozandó térképen elvégzett távolságmérések alapján meghatározhatjuk az eltávolítandó tér domináns frekvenciáját, ennek ismeretében pedig a megfelelő szűrők kiválasztása nehézséget nem okoz. Esetünkben a szűrő megválasztásánál azt a követelményt állítottuk fel, hogy a reziduál-szűrő távolítsa el a  $30s$ – $40s$  vagy ennél nagyobb hullámhosszúságú komponenseket és ugyanakkor a  $10s$ – $20s$  hullámhosszú komponenseket lehetőleg kis amplitúdócsökkentéssel eressze át. Ennek a követelménynek az átviteli függvények alapján az  $m = 3$  és  $m = 4$  paraméterű szűrők felelnek meg a legjobban. Bár a nagy hullámhosszú komponensek intenzívebb levágására alkalmasabb lenne nagyobb paraméterű szűrők alkalmazása, ez azonban a hasznosnak ítélt hullámhosszak vágását is fokozná. Ezenkívül a paraméter növelése – mint ez a reziduál-térképeken első pillantásra szembe tűnő – az eredményül kapott térkép „dinamikáját” csökkenti. Ez a hatás egyébként az átviteli függvények alakjából is következik. A szükségesnél lényegesen nagyobb paraméterű szűrőt választva a reziduális térkép dinamikája beleolvadhat a zajszintbe, s a térkép értelmezhetetlenné válik. Ennek érzékeltetésére mutatjuk be az  $m = 9$  paraméterű szűrővel kapott reziduál-térképet ( $12.$  ábra), melyen a maximális érték  $0,3$  *mgal*. A térkép jelentős része ki sem emelkedik a  $\pm 0,1$  *mgal*-nak becsült zajszintből.

### 3.3. Az eredmények értelmezése

A regionális szűrőkkel átalakított térképek az  $5.$ ,  $6.$ ,  $7.$  és  $8.$  ábrákon láthatók, a megfelelő reziduál térképeket a  $9.$ ,  $10.$ ,  $11.$  és  $12.$  ábrákon mutatjuk be.

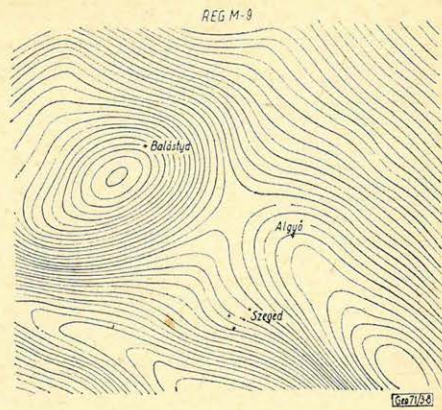
A szűrési művelet szemléletes jelentése a következő. A regionális szűrés a felbontandó térképhez lokálisan illeszkedő „sima” felületet állít elő. Az illeszkedés a paraméter növekedésével egyre tökéletesebb. Ezt mutatja be a  $13.$  ábra, amelyen az eredeti térkép egy kiválasztott izovonalát az ábrán megadott paraméterű, regionális kép azonos izovonala mellett ábrázoltuk. A lokális illeszkedés azt jelenti, hogy a szűrő súlyfüggvényének megfelelő terület játszik csak szerepet a regionális térkép egy pontjának meghatározásában. Ennek előnye más típusú (például polinom-illeszkedéssel végzett) regionális térkép-számítási módszerekkel szemben, hogy az esetleges hibák lokalizálódnak, hiszen legfeljebb a szűrő súlyfüggvényének megfelelő területen éreztetik hatásukat. Egy további tulajdonság az, hogy a sima felület nem az eredeti felülethez átlag-négyzetes értelemben legjobban illeszkedő felület, amely az eredeti felület



5. ábra.  $m = 2$  paraméterű regionális szűrővel kapott térkép

Фиг. 5. Карта, полученная с использованием фильтра региональных аномалий с параметром  $m = 2$

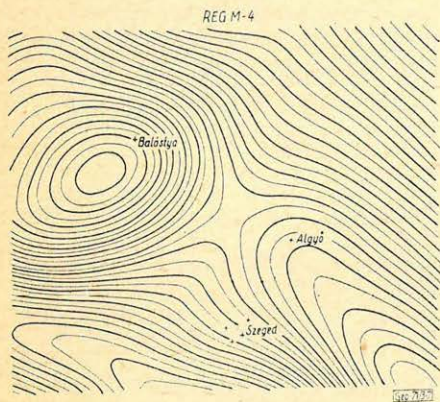
Fig. 5. Karte, erhalten mit einem regionalen Filter  $m = 2$



6. ábra.  $m = 3$  paraméterű regionális szűrővel kapott térkép

Фиг. 6. Карта, полученная с использованием фильтра региональных аномалий с параметром  $m = 3$

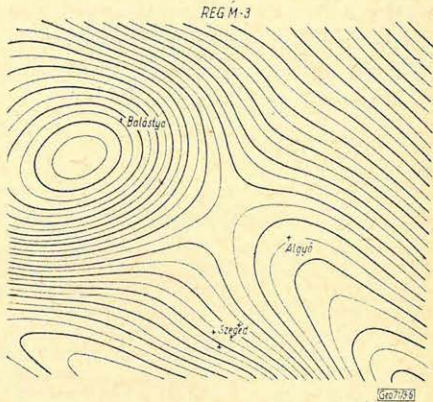
Fig. 6. Karte, erhalten mit einem regionalen Filter  $m = 3$



7. ábra.  $m = 4$  paraméterű regionális szűrővel kapott térkép

Фиг. 7. Карта, полученная с использованием фильтра региональных аномалий с параметром  $m = 4$

Fig. 7. Karte, erhalten mit einem regionalen Filter  $m = 4$



8. ábra.  $m = 9$  paraméterű regionális szűrővel kapott térkép

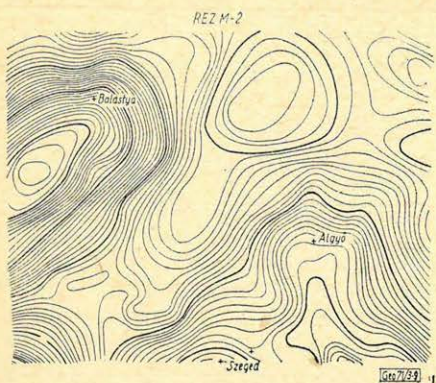
Фиг. 8. Карта, полученная с использованием фильтра региональных аномалий с параметром  $m = 9$

Fig. 8. Karte, erhalten mit einem regionalen Filter  $m = 9$

gyors lokális változásait kettémetszené és így pozitív és negatív reziduálokat hagyna meg ott, ahol valójában csak egy lokális anomália van. A regionális szűrő a gyors, kisméretű változásokat érintetlenül hagyja, azokat a regionális térhez adódó járulékként kezeli. A kapott reziduálokat, amennyiben a zajszintből kiemelkednek, tényleges szerkezetek indikációinak fogadhatjuk el.

A reziduálokat az eredeti térkép és a regionális szűrővel hozzá illesztett simább felület közötti különbség adja. Az eredeti térkép izovonalai által jelölt másodlagos gerincek, kiöblösödések, sűrűsödések a reziduáltérképen zárt

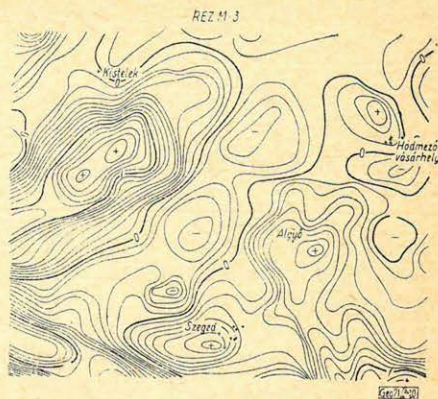




9. ábra.  $m = 2$  paraméterű reziduál szűrővel kapott térkép

Фиг. 9. Карта, полученная с использованием фильтра остаточных аномалий с параметром  $m = 2$

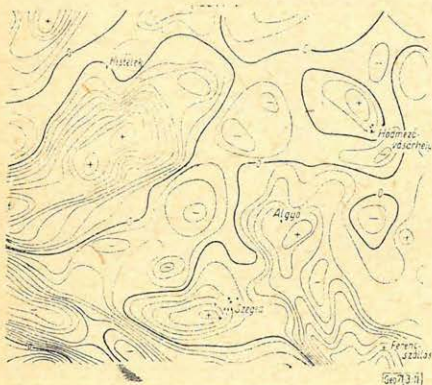
Fig. 9. Karte, erhalten mit einem Residualfilter  $m = 2$



10. ábra.  $m = 3$  paraméterű reziduál szűrővel kapott térkép

Фиг. 10. Карта, полученная с использованием фильтра остаточных аномалий с параметром  $m = 3$

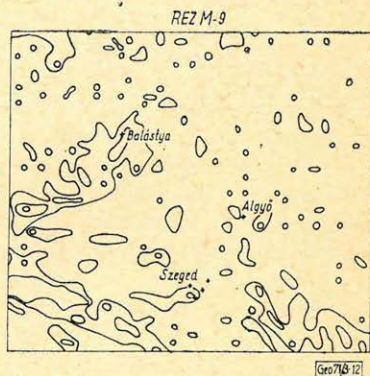
Fig. 10. Karte, erhalten mit einem Residualfilter  $m = 3$



11. ábra.  $m = 4$  paraméterű reziduál szűrővel kapott térkép

Фиг. 11. Карта, полученная с использованием фильтра остаточных аномалий с параметром  $m = 4$

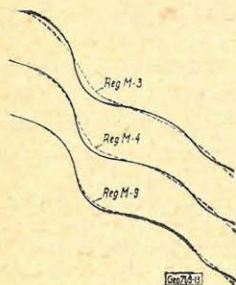
Fig. 11. Karte, erhalten mit einem Residualfilter  $m = 4$



12. ábra.  $m = 9$  paraméterű reziduál szűrővel kapott térkép

Фиг. 12. Карта, полученная с использованием фильтра остаточных аномалий с параметром  $m = 9$

Fig. 12. Karte, erhalten mit einem Residualfilter  $m = 9$



13. ábra. Az eredeti anomália térkép és az  $m = 3, 4$  és  $9$  paraméterű regionális szűrővel kapott térkép egy kiválasztott izovonalának összehasonlítása

Фиг. 13. Сопоставление одной из изолиний, выбранной из исходной карты аномалий и из карт, полученных с использованием фильтров региональных аномалий с параметрами  $m = 3, 4$  и  $9$

Fig. 13. Vergleich einer ausgewählten Isolinie der originellen Anomalienkarte und der Karte, die mit der Anwendung der regionalen Filter mit  $m = 3, 4$  und  $9$  erhalten wurde

anomáliákként jelentkeznek. A zárt anomáliák amplitúdója kvantitatív jellemzője a másodlagos gerinc, kiöblösödés stb. mértékének és így az értelmezést jelentősen segítheti. Az izovonalak lefutása, egymás közötti távolsága, valamint ezek változásai jelentős segítséget nyújthatnak szerkezeti irányok nyomozásában. Pusztán az eredeti izovonalak alapján ugyanis nehéz különbséget tenni a jelentősebb és a kevésbé számottevő lokális változások között.

A reziduál-térképen, annak ellenére, hogy simító szűrőt nem alkalmaztunk, nagyfrekvenciás zaj nem jelentkezik. Ennek oka egyrészt az, hogy az alap-térkép nagy részén magas frekvenciák térképszerkesztési okok miatt sem jelentkezhetnek, másrészt a digitalizálás során bevitt zaj nagyfrekvenciás komponenseit az izovonalak rajzolásánál elimináltuk. A simítás mértéke azonban sehol sem haladta meg a  $\pm 0,1$  mgal-t. Kivételt képez az  $m = 9$  paraméterű reziduál-térkép, ahol a megnövekedett relatív hiba miatt – továbbá a zaj érzékeltetésére – kézi simítást nem alkalmaztunk.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy tapasztalataink szerint a szűrők alkalmazása az eddigi átalakítási módszereknél megbízhatóbb és kvantitatív eredményeket ad. Az anomáliák amplitúdója egyértelműen jellemzi, mennyire emelkedik ki a talált anomália a zajszból. Az átalakítás irányfüggetlen és így a felfedett szerkezeti trendekre utaló sajátosságokból nagyobb biztonsággal következtethetünk a vizsgált terület reális geológiai viszonyaira. Az átalakított térképek jól hasznosíthatók a további kutatások, elsősorban szeizmikus mérések optimális tervezésére.

Jövőbeli feladataink között szerepel meredekebb vágású szűrők meghatározása és a szűrt térképek, valamint a terület sűrűségeloszlása közötti kapcsolat pontosabb elemzése.

## IRODALOM

- Clarke, G. K. C.: 1969. Optimum second derivative and downward continuation filter Geophysics, 34, 424–438 old.
- Meskó, A.: 1967. The method of second derivatives 1968, Analytical continuation downward 1969, Design and application of high-pass, band-pass and low-pass filters, ANNALES UNIV. Budapestiensis de Rolando Eötvös nominatae Tom. XI., XII. és XIII. 1970, Szűrőelmélet alkalmazása a gravitációs értelmezésben c. fejezet a Terepi Geofizika III. c. egy tankönyvben
- Robinson, E. A.: 1967. Statistical communication theory. . . . Griffin, London.
- Grant, F. S., and West, G. F.: 1965. Interpretation theory in applied geophysics New York, McGraw-Hill Book Co., Inc.

---

## LAPSZEMLE

H. Pietschmann, Wien: Milyen legyen a jó előadás, 278–280. old. (Kunfalvi Rezső fordítása).

A cikkben foglalt számos jótanácsot geofizikusaink is megszívlelhetik és a felállított szabályokat sikerrel alkalmazhatják. Ezek között ilyenek szerepelnek: „Az előadás előtt semmit sem rajzoljunk vagy írjunk a táblára” (alkalmazzunk dia pozitíveket); „Az előadást semmilyen körülmények között sem szabad felolvasni.”. Persze ez utóbbi feltétel betartása az esetleges szinkron tolmácsoló számára szinte megoldhatatlan feladatot jelent.

T. G.