

A dinamikakompresszió alkalmazása a Csőszhalom kutatási terület földmágneses adatainak feldolgozásában

PUSZTA S.[@], KIS K.

¹Fractal Bt., 1155 Budapest, Óda utca 37.

²ELTE Eötvös Loránd Tudomány Egyetem, Földrajz és Földtudományi Intézet,
Geofizikai és Őrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

[@]E-mail: fractgeo@gmail.com

A dinamikakompressziót két célból alkalmaztuk a földmágneses adatainkon. Ezek egyike a térbeli impulzusszerű jelkomponensek elnyomása. A másik a nagy amplitúdóbeli változatosságot mutató terület strukturális jellegének kiemelése. Cikkünkben áttekintjük a dinamikakompressziót. Megmutatjuk, hogy e műveletet az adatok burkolófüggvényére célszerű alkalmazni. A Hilbert-transzformáció sugallta heurisztikus algoritmust adunk a kétdimenziós burkolófüggvény meghatározásához. Az eljárást sikerrel alkalmaztuk a kelet-magyarországi Polgár város közelében lévő Csőszhalom nevű kutatási terület régészeti célból mért földmágneses adataira. A terület fontosságát az adja, hogy itt egy 6000 évnél nagyobb időszakot átfogó komplex kulturális objektum található. E helyen különböző feldolgozottságú obszidiánt deponáltak. A dinamikakompresszált adatok irányelemzése a Tokaj-hegy csúcsára mutat, amely Közép-Európa csaknem kizárólagos obszidiánlelőhelye. A terület hat és félezer évvel ezelőtti kapcsolatáról ad hírt a 200 méternél nagyobb méretű földmű irányítottsága.

Pusztai, S., Kis, K.: Application of dynamic compression in the geomagnetic survey of the Csőszhalom research area data processing

Dynamic compression has been applied to our geomagnetic data for two purposes. The first is to suppress the signal pulse-like signal components. The second is to highlight the structural nature of the high-amplitude variability region. In our article we review dynamical compression. We show that this operation is appropriate for the envelope function of the data. We give a heuristic algorithm, suggested by Hilbert transform, for the determination of the two-dimensional envelope function. The procedure has been successfully applied to geomagnetic data measured for archaeological purposes in the research area of the Csőszhalom, near the town of Polgár in eastern Hungary. The importance of this area is due to the fact that it is the site of a complex cultural object spanning a period of more than 6000 years. Obsidian of various degrees of processing has been deposited on this site. The directional analysis of the dynamic compressed data points to the top of Mount Tokaj, which is the almost exclusive obsidian site in Central Europe. The presence of an earthwork of more than 200 m in size indicates a connection between the two areas six and a half thousand years ago.

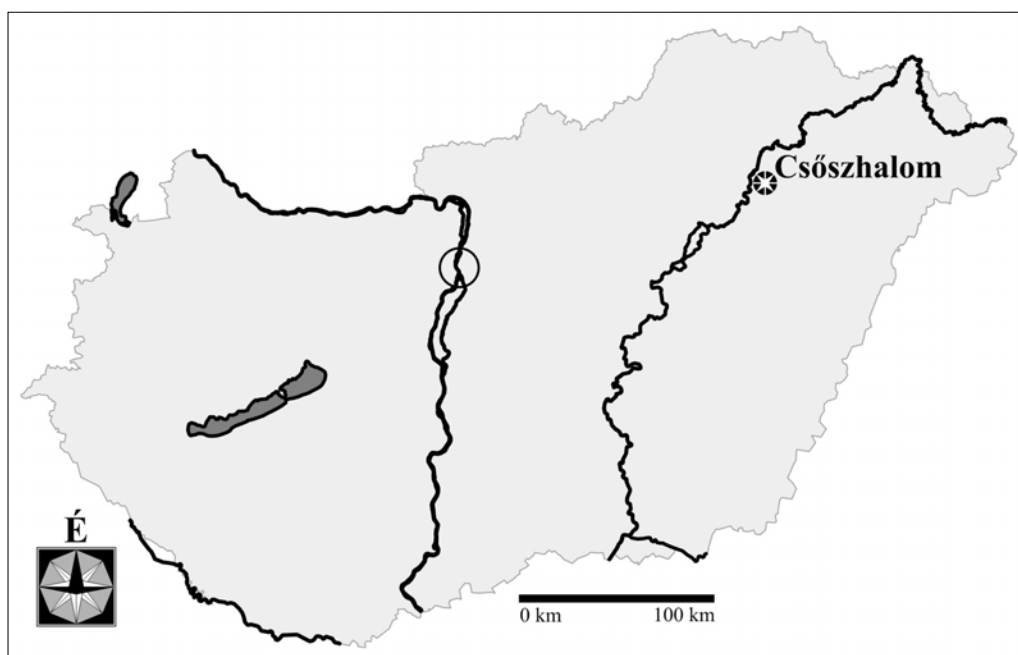
Beérkezett: 2024. november 18.; elfogadva: 2025. február 25.

A Csőszhalom kutatási terület

A Csőszhalom régészeti azonosítójú terület Kelet-Magyarországon Polgár városától 3 kilométerre, keletre helyezkedik el (1. ábra). Jellegzetes része egy 200 méter átmérőjű, 6,5 méter magas, enyhe lefutású halom, melynek tetején állandósított geodéziai pont van. Légi fotón a növényzet színe széles sávban egy kör alakú struktúra létét sugallja (2. ábra).

1957-ben a halmon régészeti vizsgálat történt, viszonylag kis felületen. A régészeti célból mélyített fúrások anyagából tudjuk, hogy a halom mesterséges képződmény. A környező, régészetileg frekvenciált bizonyult területek kutatása az M3-as autópálya tervezett nyomvonalvariáns előkészítő munkáinak egyik eleme volt.

1991-ben végzett itt először mágneses méréseket az ELTE Geofizikai Tanszéke Pusztai Sándor vezetésével. A használt eszközök Geometrics gyártmányú G816 és G826



1. ábra | A Csőszhalom kutatási terület elhelyezkedése
Figure 1 | Location map of the Csőszhalom prospecting area



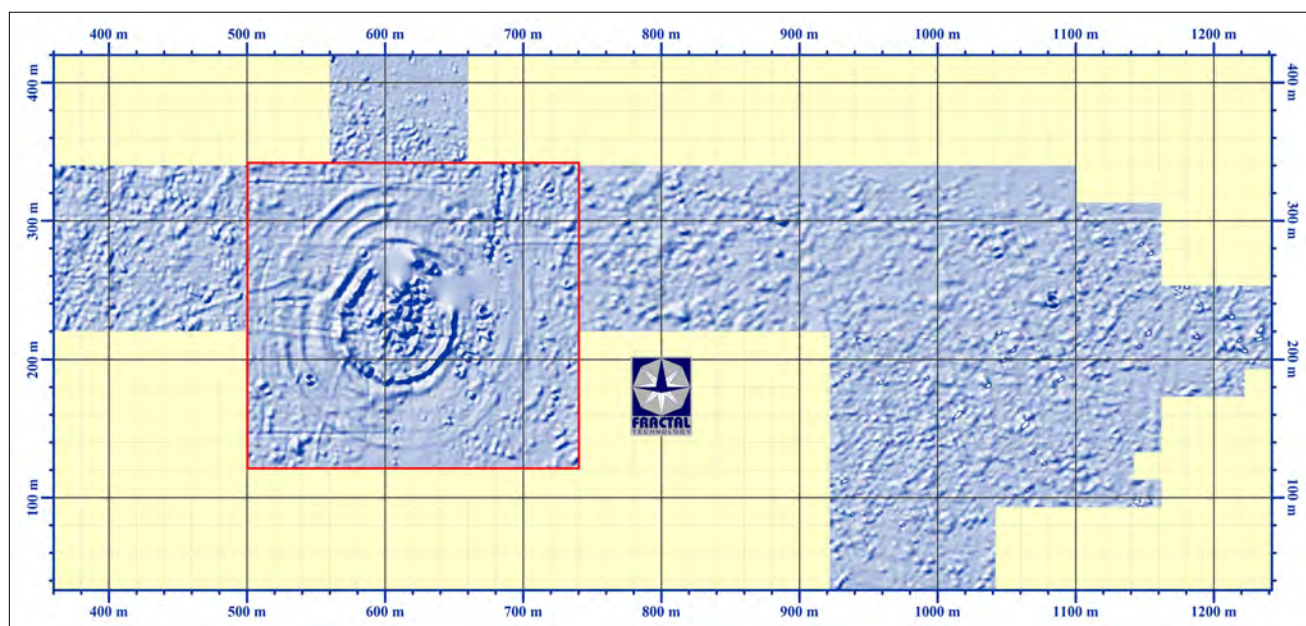
2. ábra | A kutatási terület légi fotója (Raczky et. al. 1994)
Figure 2 | Aerial photo of the area (Raczky et al. 1994)

típusú, 1 nT érzékenységgű, memóriával nem bíró, a mágneses tér abszolút értékét mérő protonprecessziós műszerek voltak. E kutatás során a halom nagyszerkezetéről kaptunk információt.

1993 és 1995 között a Fractal Bt. Pusztai Sándor vezetésével korszerű eszközökkel, Geometrics gyártmányú G856 protonprecessziós műszerekkel kutatta a területet. Ezek érzékenysége 0,1 nT. Memóriába rögzíti az adatokat, valamint PC-kapcsolattal RS-232 adatátvitelre képes. A továbbiakban ez utóbbiak által mért adatokat használtuk. Az adatokat saját fejlesztésű szoftverekkel dolgoztuk fel, melynek lépései: adatelemzés, báziskorrekció, térbeli pozíció hozzárendelése, kétdimenziós Fourier-transzformáció, Hilbert-transzformálás, lokálisfázis-számítás, lokálisamplitúdó-számítás, sávszűrés, pólusra redukálás, lefelé folytatás, optimumszűrés. E műveletek sorába illeszkedik a dinamikakompresszió, melynek kifejtése cikkünk egyik célja.

1997-ben a megkutatott területet bővítettük, így a halom strukturális képe összefüggésbe került tágabb környezetével (3. ábra). E kutatások értéke abban áll, hogy a terület horizontális szerkezetéről ad részletes ismeretet, megalapozza a régészeti vizsgálatok célszerű helyét.

A mágneses méréseket a mágneses északra irányított hálózat 1×1 méteres derékszögű rácpontjaiban végeztük. A geodéziát a dombon lévő háromszögelési pontra és a mágneses északi irányra alapoztuk busszolás teodolit használatával. A hálózatot optikai módszerrel (teodolit) és mérőszalagok alkalmazásával tűztük ki 20×20 méteres közbülső rács alkalmazásával. Térképeinket helyi koordináta-rendszerben (LAM – Lokális ArcheoMágneses koordináta-rendszer) ábrázoltuk. Ez egy méter alapú Descartes-rendszer, x – Kelet, y – Észak irányítottsággal.



3. ábra | A tágabb terület földmágneses anomáliái
Figure 3 | Geomagnetic anomalies of the larger area

Jelen cikkben a több mint 17 hektár mért adataiból készített áttekintő mágneses térképen piros négyzettel jelöltük a cikkünk fókuszában lévő területet, amely a kívülállók számára is a legérdekesebb, több mint 5 hektár kiterjedésű 240×220 méteres rész. Térképünk irányított-sága a négyzetháló x tengelye nyugat-kelet irányított-ságú 140 métertől 380 méterig, míg y tengelye dél-észak irányított-ságú 140 métertől 380 méterig (3. ábra).

1991 és 2000 között intenzív régészeti kutatás történt a területen. A földmágneses kutatási eredmények alapján kiválasztott 20×30 méteres horizontális kiterjedésű, 6 méter mélységet elérő nagy részletességű ásatásából tudjuk, hogy a halom egy „tell” típusú település. A tell egy régészeti szakszó, jelentése domb, törmelékhalom. Az idők során ugyanis mindig ugyanott újjították meg a lakhelyeket, és ezáltal jött létre a domb. Az árkok az anyagkitermelés következményei – és nem mellékesen – védelemül is szolgálhattak. A telep terjeszkedésével az árkokat a lerombolt házak anyagával töltötték fel. A domb régészeti anyaga sok korszakot ölel át. A C14-es vizsgálatokból tudható, hogy a halom legrégebbi része több mint 6000 évvel ezelőtti.

A dinamikakompresszió

E módszer bevetésének aktualitását az adta, hogy az egyik kutatási területünk mágneses képe igen nagy amplitúdóbeli változatosságot mutat, és esélyes volt, hogy a feldolgozás folyamán a nagy intenzitású részek elnyomják a kisebbeket. A dinamikakompressziót esetünkben a földmágneses adatok előfeldolgozásaként használtuk, egyrészt az adatainkat terhelő kis térbeli kiterjedésű, nagy amplitúdójú zajok elnyomása céljából, másrészt a helystruktúrájának érthetőbbé tétele érdekében.

Kutatásaink során általában arra törekszünk, hogy mérési adataink ne torzuljanak, az eredeti mennyiségek legfeljebb a

$$k_i = a \times b_e + b$$

lineáris transzformáció szerint módosuljanak.

Bizonyos esetekben a jelek torzítását nem tudjuk elkerülni, például amikor egy hangerősítő túlvezérlése során a maximális amplitúdó eléri az eszköz fizikai határértékét. Ilyenkor az eszköz által megvalósított

$$k_i = f(b_e),$$

ahol az $f(b_e)$ nemlineáris transzformáló függvénynek a hatását mint fülhasogató felharmonikusok sokaságaként éljük meg.

Más esetekben célunk lehet a nemlinearitás alkalmazása, például eszközök túlvezérlésének, túlterhelésének, károsodásának megakadályozása érdekében. Biológiai rendszerek is előnyösen használják ezt, például a Weber-Fechner-féle pszichofizikai törvény szerint a hangintenzitás mint inger és hangosság mint érzet között logaritmikus összefüggés áll fenn.

Technikai alkalmazásokban limiterként, illetve klipperként említik azt az eszközt, melynek átvitele csak egy küszöbértékig lineáris. Hálózati áramellátásnál a túlfeszültség-védelmet valósítják meg ily módon. Mechanikai példáját a nyomatékkorlátozó autókerek-kulcsként ismerhetjük. Megmért adatainkban lévő impulzusszerű események amplitúdóját korlátozhatjuk így. Térbeli impulzusszerű jelek mágneses térképeinken is előfordulnak, melyek forrása általában kis kiterjedésű, kis mélységű, esetleg felszíni ferromágneses anyag, recens hulladék, melyek léte érdeklődésre nem tart számot. Mivel az impulzus teljesítményspektruma olyan, hogy minden frekvencián a hasz-

nos jelekhez tartozó frekvencia tartományban is ad járulékot, ezáltal hatása nemkívánatos.

Vannak azonban olyan esetek, amikor a mért adatoknak a nagy és a kis amplitúdójú részeit egyaránt láttatni szeretnénk, mégpedig korlátos dinamikai képességű eszközön. Ilyen jellegű problémával szembesül például a hanglemezkészítés vagy fényképek papírra nyomtatása, a telefontechnikában a beszédhang átvitele korlátozott sávzélességű csatornán vagy a HDR (High Dynamic Range) fényképezés. Ezekben az esetekben a megoldást az adatokon végrehajtott dinamika-kompresszió adja. Ez egy olyan nemlineáris függvény alkalmazását jelenti, amely jellegében csak enyhén tér el a lineáristól. Ezt tekinthetjük a feladat determinisztikus megoldásának, míg az analóg technikában gyakrabban alkalmazott AGC-t (Automatic Gain Control) adaptívnek. Ez utóbbinak az erősítése a bemenő jel pillanatnyi intenzitásától függ, nagyobb intenzitáshoz kisebb erősítést társítva és viszont.

Bemutatunk három, jellegében eltérő kompressziós függvényt.

- *Limiter*: a bemenet $be(x)$ és a kimenet $ki(x)$ között a kapcsolat csak egy küszöbértékig lineáris, utána konstans, a deriváltjában szakadás van.
- *Arkusz tangens*: $ki(x) = \text{atan}(be(x))$, nulla közelében a deriváltja = 1, torzítása kicsi, a kimenetet $\pm\pi/2$ értékre

korlátozza. Az előbbinek finomított módja, a deriváltja folytonos.

- *Négyzetgyökös*: $ki(x) = 0,5 \text{ sign}(be(x)) [-1 + \sqrt{1 + 4|be(x)|}]$. Ez utóbbit mutatjuk részletesen is, nulla közelében a deriváltja = 1, torzítása kicsi, a kimenet értékét nem korlátozza, a deriváltja folytonos (4., 5. ábra).

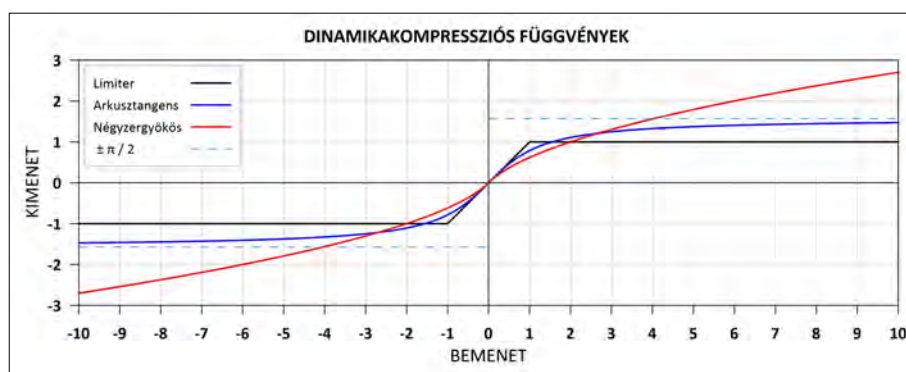
A dinamika-kompresszió alkalmazása során törekszünk rá, hogy a lényegi adataink a transzformáló függvény közel lineáris szakaszára essenek. Ezt a bemenet átskálázásával érjük el, azzal a kikötéssel, hogy ezek az adatok a transzformáció során a ± 1 tartományba kerüljenek. Az alkalmas skálátényező megállapításához a térképi adatok hisztogramja van segítségünkre.

A kompresszió után célszerű az adatrendszert vissza-skálázni, miáltal lényegi adataink közel változatlanok maradnak, szemben a nagyamplitúdójú komponensekkel:

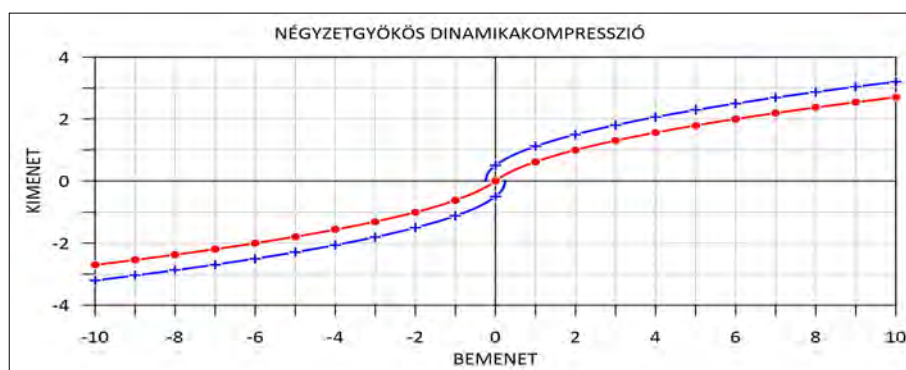
$$ki(x) = A \times f(be(x)/A),$$

ahol az A egy skálázó tényező.

A Csőszhalom kutatási terület totális mágneses adataira két lépésben alkalmaztuk a dinamika-kompressziót. Az elsőben a térbeli impulzusszerű zajok amplitúdójának csökkentésére, a másodikban az adatokban lévő nagy dinamikát kívántuk csökkenteni a térképi jelenségek jobb értelmezhetősége érdekében.



4. ábra Dinamikakompressziós függvények: Limiter (fekete), Arkusztangens (kék), Négyzetgyökös (piros)
Figure 4 Dynamic compression functions: Limiter (black), Arc tangent (blue), Square root (red)



5. ábra Négyzetgyökös dinamikakompressziós függvény
Figure 5 The square root dynamics compression function

Az impulzusszerű zajok csökkentése

A Csőszhalom mágneses adataiból számított hisztogramot tanulmányozva meghatározhatjuk a dinamikakompresszió skálátényezőjét. Példánkban a ± 100 nT értékészletet lát-nánk szívesen a kompresszió bemeneteként a ± 1 tartományban. Szeretnénk az ettől nagyobb/kisebb értékek gyengítését elérni. Az A skálátényező választásával az alábbiak szerint végezzük a műveletet:

$$\text{Kompresszált}(x, y) = \text{atan}\left(\frac{\text{mágneses tér értéke}(x, y)}{A}\right) \times A.$$

Az A skálátényező nT dimenziójú, miáltal a kompresszálo függvény bemenetére dimenziótlan mennyiségek kerülnek. Az A -val való utólagos szorzás hivatott a kis amplitúdójú adatok eredeti értékének, valamint az adatrendszer nT dimenziójának visszaállítására. Ez a kompressziós lépés előnyösen korlátozta a térképünket sújtó impulzusokat. Hatásosságát a hisztogramon mutatjuk be (6. ábra).

A strukturális jelleg kiemelése

A térképünk gyűrűs szerkezetet mutató belső és külső részei egyaránt lényegi információt hordoznak, eltérő intenzitással. Kisebb felületen végzett régészeti szondázás eredményéből tudjuk, hogy a gyűrűs szerkezet több „koncentrikus” árok hozza létre. Az eltérő intenzitás az eltérő betöltő anyag miatt van. A külső árkok erózió által talajjal töltöttek, míg a belső paticcsal, átégett agyaggal. Ennek nagyobb a szuszceptibilitása, mely magyarázza a belső területre jellemző nagyobb mágneses indukció értéket.

Szeretnénk a külső és belső rész amplitúdó viszonyait közelíteni egymáshoz. Most nem volna célszerű, ha vág-nánk vagy telítésbe vinnénk az amplitúdókat. Itt a négyzetgyökös kompresszálo függvényt alkalmaztuk, előny-ként tekintve a kimenet nem korlátos jellegét.

Vizsgáltuk a kompresszió alkalmazási módját. Numerikus kísérleteink eredményei azt mutatták, hogy ha a műveletet közvetlenül alkalmaznánk adatainkra, az a spektrum jelentős torzulásával, sok felharmonikus keletkezésével járna. Az általunk alkalmasnak talált és követett eljárás az, hogy:

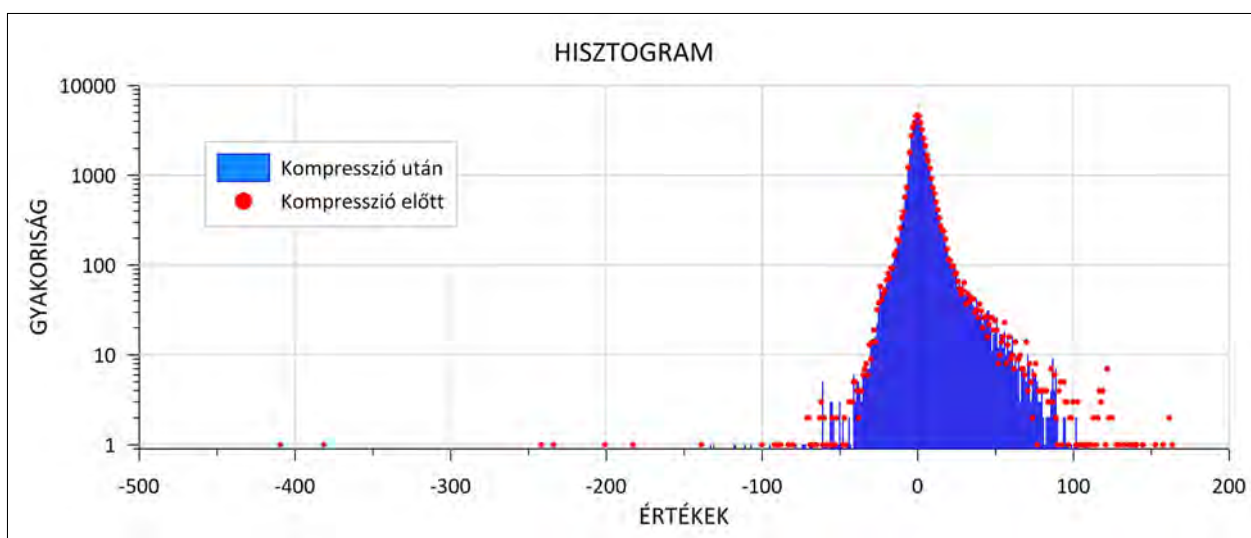
1. adatainkat amplitúdó- és fázistagra bontottuk a Hilbert-transzformáció segítségével;
2. csak az amplitúdó függvényre alkalmaztuk a kompresszálo;
3. adatainkat rekonstruáltuk a fáziskoszínusszal való szorzással.

Tapasztalatunkat egydimenziós példán illusztráljuk. Modellként egy Gauss-függvénnyel szorzott koszinuszt választottunk, melyből adódott, hogy az amplitúdó rész a Gauss-függvény, a fáziskoszínusz pedig maga a koszinusz (7. ábra).

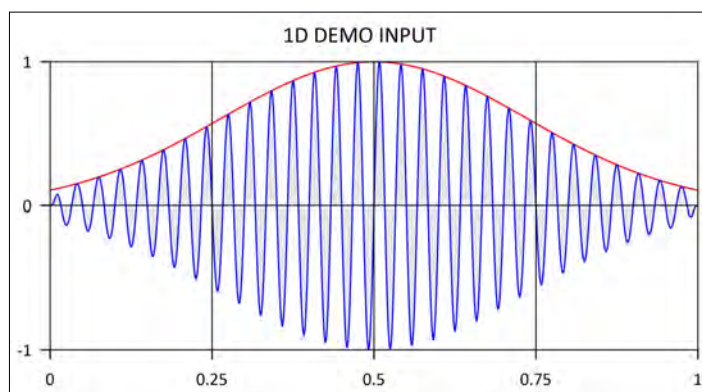
Mutatjuk, hogy milyen hatással van a spektrumra annak, ha a kompressziót

- csak az amplitúdó tagra – (pontosított vonal);
- csak a fáziskoszínusz tagra – (vastag vonal);
- vagy szorzatukra, ami a bemenet – (vékony vonal), alkalmazzuk.

Megállapíthatjuk, hogy jelentős mennyiségű felharmonikust kapnánk abban az esetben, amikor közvetlenül a bemenet adataira alkalmaznánk a dinamikakompressziót (8. ábra).



6. ábra | A totális földmágneses anomáliák nem normalizált hisztogramja: mért (piros), dinamikakompresszió után (kék)
Figure 6 | Not normalized histogram of the measured total magnetic anomalies (red) and total magnetic anomalies after dynamic compression (blue)



7. ábra | Az 1D művelet bemenete

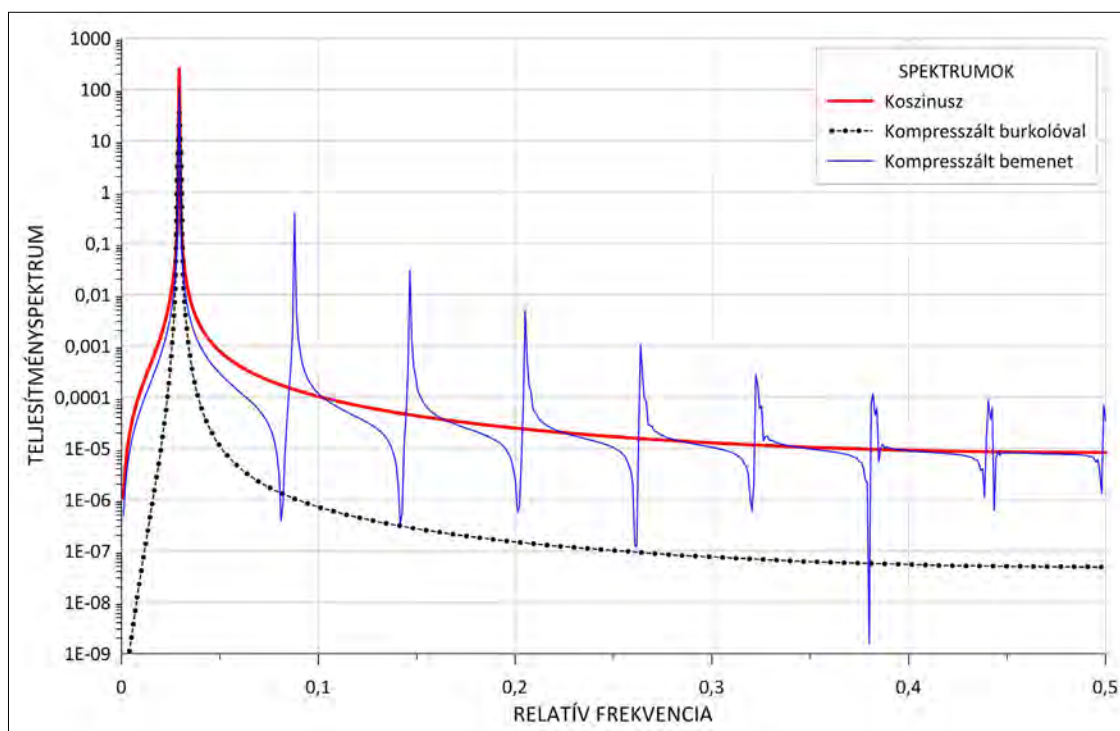
Figure 7 | Input to the 1D operation

A Hilbert-transzformáció

A transzformációt Hardy (1932) vezette be Hilbert tiszteletére nevezte Hilbert-transzformációnak. A szakirodalom részletesen tárgyalja a Hilbert-transzformációt és annak alkalmazását: Gold et al. (1972); Hahn (2000); Meskó (1984); Nabighian (1984); Kis (2009). A mágneses és gravitációs anomáliák értelmezésére használja a Hilbert-transzformációt Mohan et al. (1982); Sundararajan et al. (1983); Sundararajan et al. (1985). Szeizmikus adatfeldolgozásra használta a Hilbert-transzformációt Zsellér (1983). A Hilbert-transzformáció egyes tulajdonságait és mágneses adatok értelmezésére használta Pusztai és Kis (2013). Ez a tanulmány a *Magyar Geofizika* hasábjain jelent

meg, így a Hilbert-transzformáció részletesebb tárgyalása helyett itt csak felidézésként említjük.

A $be(t)$ valós adatsorunkból $H(t)$ -t Hilbert-transzformáltat számítunk. A be bemenetből és a H transzformáltból mintáról mintára képezzük a komplex elemű $A(t)$ analitikus függvényt, melynek valós része a $Re(A(t)) = Be(t)$ bemenő adatsor, képzetes komponense ennek a Hilbert-transzformáltja, $Im(A(t)) = H(t)$. Az analitikus jel abszolút értéke a bemenetnek, és annak Hilbert-transzformáltjának burkolóját szolgáltatja. $|A(t)| = [(Re(t)^2 + Im(t)^2)]^{1/2}$ a pillanatnyi amplitúdó vagy burkoló. Az $A(t) = \{Re(t), Im(t)\}$ komplex adatokat polárkoordinátás módon is kifejezhetjük: $A(t) = \{|A(t)|; \varphi(t)\}$, ahol $\varphi(t) = \text{atan}(Im(t)/Re(t))$ a pillanatnyi fázis.



8. ábra | A kompressziós művelet spektruma

Figure 8 | Spectrum of the compression operation

A definícióból adódóan a bemenetet visszakaphatjuk az analitikus függvényből a $be(t) = |A(t)| \cos(\varphi(t))$ módon. Ez számunkra igen kedvező, mert a bemenő adatainkat amplitúdó- és fázisinformációt hordozó komponensek szorzataként írhatjuk le.

A pillanatnyi fázis koszinusza $\cos(\varphi(t)) = \text{Re}(t)/|A(t)|$ módon is megkapható, ami előnyös, mert az arkusz tangens függvény többértékűsége miatt elkerülhető, hogy a φ főértéke, illetve az $a + k\pi$ -nél felvett értékek közül kelljen választanunk.

Az analitikus jel spektruma előállítható a bemenet spektrumának csak a pozitív frekvenciákhoz tartozó értékeinek megtartásával.

A Hilbert-transzformáció kétváltozós esetben

Mágneses térképeink kezelésénél kétdimenziós Hilbert-transzformációra van szükségünk. Sajnos nincs egyértelmű és egyszerű módszer a kétdimenziós Hilbert-transzformációra. Különböző szerzők jellegében nagyon eltérő megoldásokról számolnak be, melyeket saját feladatukhoz eredménnyel alkalmaztak. Néhány értelmezés ezek közül:

A René Garello által szerkesztett (2008) kiadvány 230. oldal 5.4 fejezetében javasolt az egyváltozós eset követése, a negatív frekvenciához tartozó tagok nullázása, esetünkben nem járható. Az egyváltozós eset analógiára Zhu (1990) javaslata: a $H(\omega_x, \omega_y) = (1/4) [\text{sign}(\omega_x) + \text{sign}(\omega_y) + 2]$ irányfüggő tulajdonsága, hogy az egyik átlós irányban mutatja az általunk várt tulajdonságot, az erre merőleges irányban az adatokat változatlanul hagyja. Így használatáról lemondunk. Hasonlót javasol Reid és Treiter (1973).

Bonyolultabb eljárást mutat be Bülow (1998), Bernstein et al. (1998). A hiperkomplex számoknak a valósra és egymásra is ortogonális 3 képzetes komponense van. Ezekhez rendeli hozzá a „parciális” és a „totális” Hilbert-transzformáltakat a további felhasználás érdekében.

Nabighian (1984) az analitikus jel burkolóját a potenciál irány szerinti deriváltjaiból származtatja. Az anizotrópia szempontjából előnyös, azonban a deriválás nagy frekvenciákat erősítő hatása miatt az előfeldolgozás során kerüljük.

Az általunk korábban kidolgozott heurisztikus algoritmust a kétdimenziós Hilbert-transzformáció meghatározására az alábbiakban mutatjuk be.

Olyan eljárást kerestünk, mely az adatainkat lehetőleg izotróp módon alakítja át. Térképünk sorait külön-külön mint egydimenziós adatsorokat kezelve számítottuk a $H_y(x, y = \text{konstans})$ Hilbert-transzformáltakat és az analitikus $A_y(x, y = \text{konstans})$ jelet. Ugyanígy jártunk el térképünk oszlopaiban lévő adatokkal, melyekből $H_x(x, y)$ és $A_x(x, y)$ adatokat kaptuk. Valószínűtlen, hogy a két irányból számított adatok azonosak lehetnének. Az eltérés a számítás nemkívánatos hatása, csökkentésére a két irány mentén kapott analitikus jel abszolút értékének pontonkénti mértani, illetve számtani közepét számítottuk. A továbbiakban ez utóbbit használtuk:

$$|A(x, y)| = (|A_x(x, y)| + |A_y(x, y)|)/2.$$

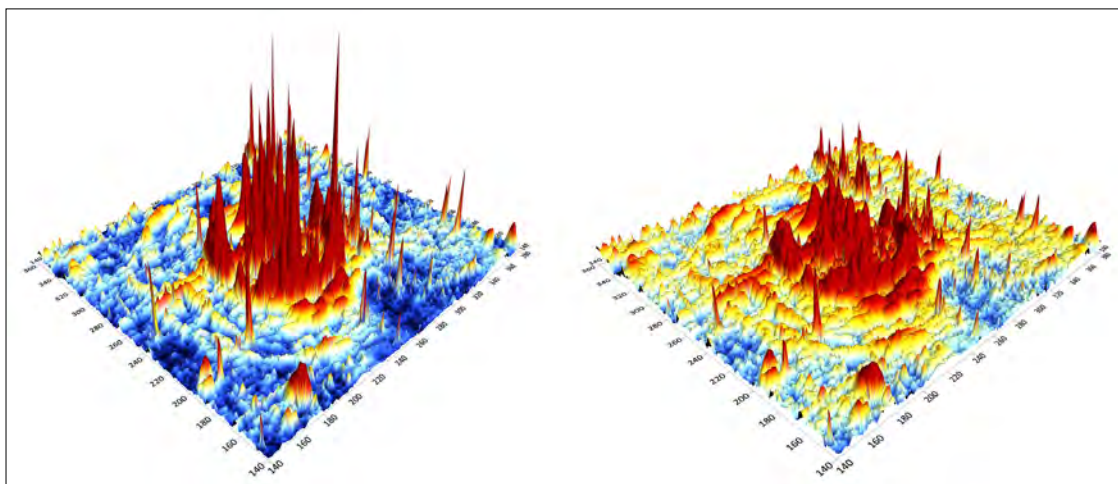
A fázisszög koszinuszát az átlagolt analitikus értékekből és az egyértelmű bemenetből:

$$\cos(\varphi(x, y)) = \text{Re}(x, y)/|A(x, y)| = \text{Be}(x, y)/|A(x, y)|$$

módon állítottuk elő. Ez a mágneses anomáliákat eredeti amplitúdójuktól függetlenül a ± 1 tartományban ábrázolja. Megmutatjuk (9. ábra) a burkoló adatokat a dinamika kompresszió előtt és után.

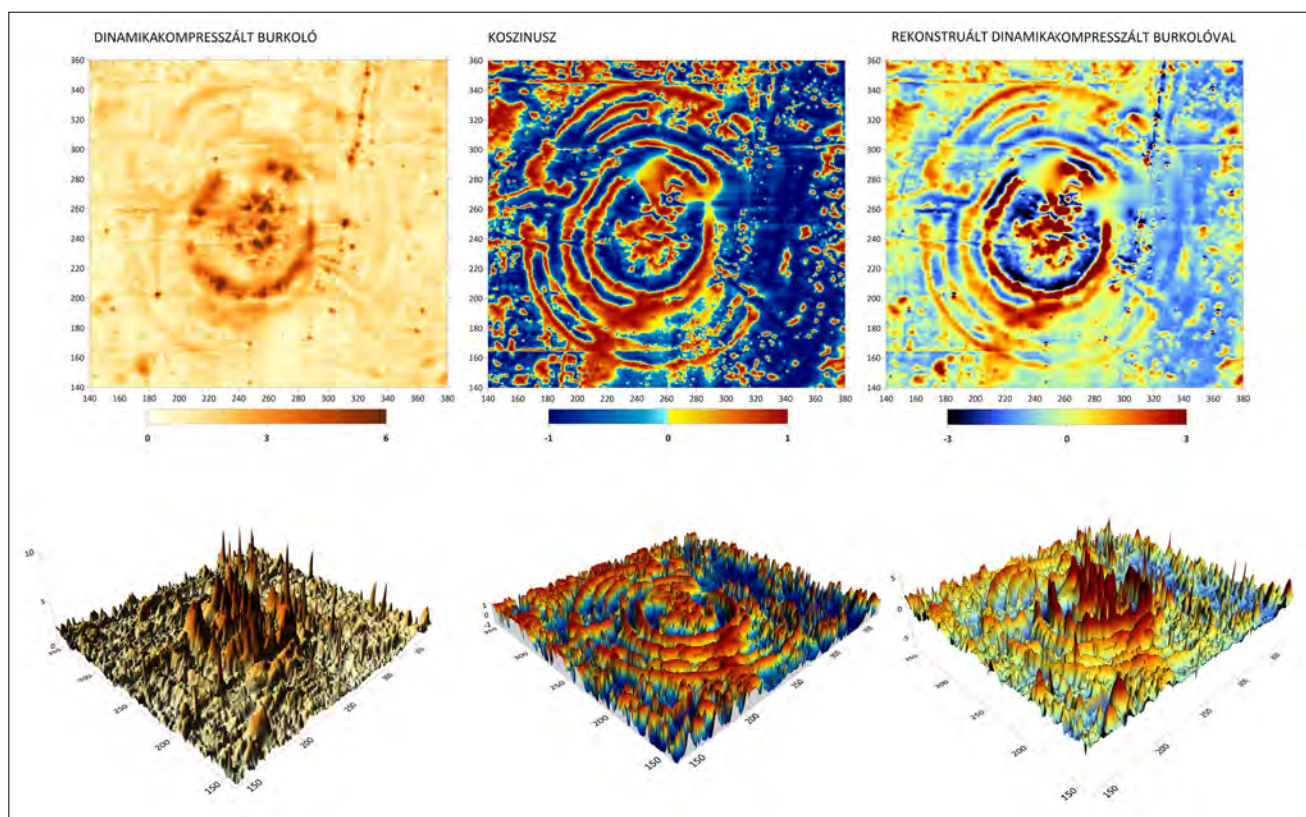
Bemutatjuk továbbá (10. ábra) a dinamikakompresszált burkolót (jelerősséget), a lokális fázis koszinuszának térképét, valamint a rekonstruált dinamikakompresszált adatokat. Ez utóbbiak szolgáltak a további feldolgozáshoz bemenetként.

E művelet előnyösen tette láthatóvá a külső gyűrűket, és csökkentette a belső intenzitását, mindezt drasztikus tor-

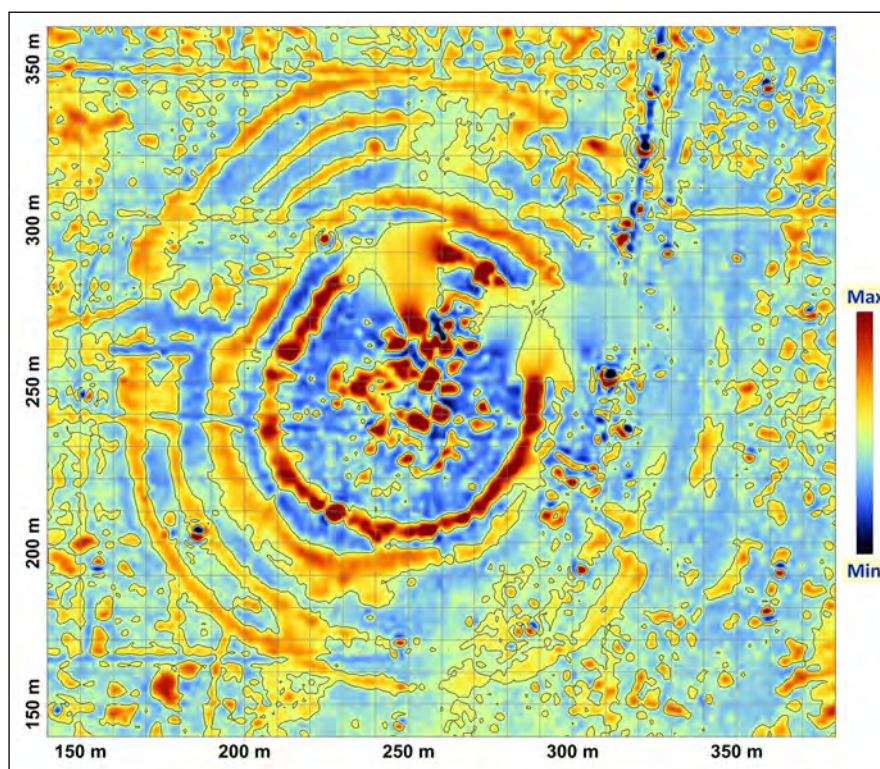


9. ábra | A burkolófüggvény a dinamikakompresszió előtt és utána

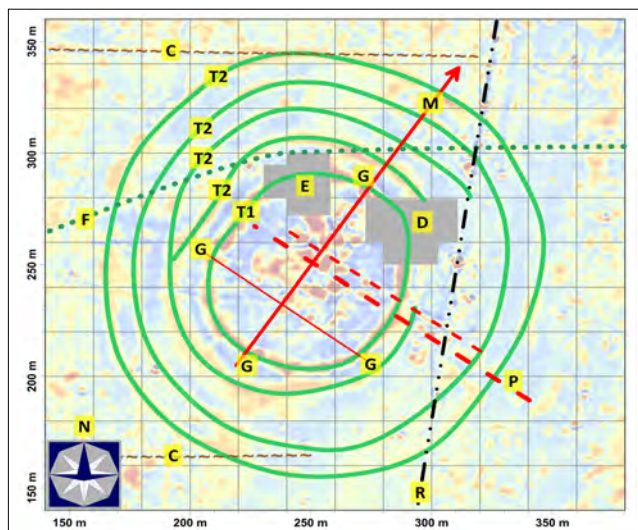
Figure 9 | The envelope function before and after dynamic compression



10. ábra | Dinamikakompresszált burkoló, a lokális fázis koszinusza, a rekonstruált dinamikakompresszált adatok térképi és perspektívus ábrázolással
Figure 10 | Dynamic compressed envelop, the local phase cosine, reconstructed dynamic compressed data with map and perspective representation



11. ábra | A Csőszhalom kutatási terület dinamikakompresszált földmágneses anomáliái. Színskálát a nemlineáris művelet miatt nem kalibrálható. A szintvonalak a 0 értéket mutatják
Figure 11 | Dynamic compressed magnetic anomalies of the Csőszhalom prospecting area. The scale is not calibrated due to the nonlinear operation. The zero contour lines are indicated



12. ábra A kutatási terület strukturális vázlata. *Jelmagyarázat:* T1 – árok paticcsal töltve; T2 – árok talajjal töltve; G – kapu; M – főirány; P – út; N – mágneses Észak; C – jelenkori barázda, művelési határ; R – jelenkori földút; F – jelenkori gyalogút; E – ásátási terület; D – depó terület

Figure 12 The structural outline of Csőszhalom prospecting area. *Legend:* T1 – trench filled with paties; T2 – trench filled with soil; G – gate; M – main direction; P – accommodation road; N – magnetic North; C – recent furrow indicates the cultural boundary; R – recent accommodation road; F – recent lane; E – excavation territory; D – depo territory

zítás nélkül. A további feldolgozási lépésekben ez az adatrendszer szolgált a bemenetként.

Az eredmények értelmezése

A Csőszhalom dinamikakompresszált mágneses képe (11. ábra) előnyösebben értelmezhető, és számos régészeti objektumról ad hírt, melyek mibenlétéről az ásások alapján lehet informálódni. Csak felsorolásként idézzük: ötszörös körárok, a belső paticcsal feltöltött, „kapu”-ként megnevezett anomáliák, bejárati út, belső területen házak, kemencék hatása, kisebb kiterjedésű anomáliák, melyeket középkori sírok hoztak létre, hajdani feldolgozás alatti obszidiándepo, jelenkori felszíni árkok, jelenkori földút és annak árka, valamint fémhulladékai, felszíni eróziós folyamatok hatása. Természetesen az ásátási terület és a kiásott föld deponálási területe is a mérést ellehetetlenítette, ezeket mint „sima” részeket láthatjuk a térképen.

A térkép geometriai szerkezetét, az ÉK–DNy és a rá merőleges „kapu” valamint a „bejárati út” irányát és az árkok elnyújtottságát vizsgálva (12. ábra) hasonló irányértéket kaptunk, mint a mágneses térkép kétdimenziós autokorrelációjából. Ezt irányozva a térképen és a terepen teodolittal, a Tokaj-hegy csúcsát mint egyedi tájolási pontot találjuk.

Az obszidián Európa középső részén csaknem kizárólag az Eperjes-Tokaj-hegyvidék területén fordul elő. Az itt bányászott obszidiánt különböző feldolgozásban deponálták Csőszhalom területén.

A két terület hat és félezer évvel ezelőtti kapcsolatáról ad hírt a 200 méternél nagyobb méretű földmű irányított-sága.

A tanulmány szerzői

Pusztas Sándor, Kis Károly

Hivatkozások

- Bernstein S., Bouchot J. L., Reinhardt M., Heise B. (1998): Generalized analytic signals in image processing. Comparison, theory and their applications. In: Bülow proposed a definition of a hypercomplex signal based on the so-called partial and total Hilbert transform.
- Bülow T., Sommer G. (2001): Hypercomplex signals – A novel extension of analytic signal to the multidimensional case. Signal processing, IEEE Transactions on 49/11, 2844–2852.
- Gold B., Oppenheim A. V., Rader C. M. (1972): Theory and interpretation of the discrete Hilbert transform. In: Digital Signal Processing. L. R. Rabiner, C. M. Rader (eds), IEEE Press
- Hardy G. H. (1932): On Hilbert transforms. Quart. J. Math. (Oxford), 3, 102–112.
- Kis K. (2009): Magnetic Methods of Applied Geophysics. Eötvös University Press, Budapest.
- Mesko A. (1984): Digital Filtering: Applications in Geophysical Exploration of Oil. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Hahn S. L. (2000): Hilbert Transforms. The Transforms and Applications Handbook: Second Edition. Chapter 7, A. D. Poularikas (ed.), Boca Raton: CRC Press LLC.
- Garello R. (2008): Two-Dimensional Signal Analysis. Iste Ltd. and John Wiley & Sons, Inc.
- Mohan N. L., Sundararajan N., Seshagiri Rao S. V. (1982): Interpretation of some two-dimensional magnetic bodies using Hilbert transforms. Geophysics, 47/3, 376–387.
- Nabighian M. N. (1984): Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transform: Fundamental relations. Geophysics, 49, 780–786.
- Pusztas S., Kis K. (2013): A Hilbert-transzformáció alkalmazása a kiskunhalasi kommunális hulladéktároló különböző méretű és vastartalmú tárgyainak kiterjedés szerinti szeparálásában. Magyar Geofizika, 54/3, 154–160.
- Raczky P., Meier-Arendt W., Kurucz K., Hajdú Zs., Szikora Á. (1994): Polgár-Csőszhalom, egy késő neolitikus lelőhely kutatása a Felső-Tisza-vidéken és annak kulturális összefüggései. Jósza András Múzeum Évkönyve, 237–240.
- Reid P. R., Treiter S. (1973): The stabilization of two dimensional recursive filter via the discrete Hilbert transform. IEEE Trans. Geosci. Electron. Vol. GE-11
- Sundararajan N., Mohan N. L., Seshagiri Rao S. V. (1983): Gravity interpretation of two dimensional fault structures using Hilbert transforms. Journal of Geophysics, 53/1, 34–41.
- Sundararajan N., Mohan N. L., Vijaya Raghava M. S., Seshagiri Rao S. V. (1985): Hilbert transform in the interpretation of magnetic anomalies of various components due to a thin infinite dike. Pure and Applied Geophysics, 123/4, 557–566.
- Zhu Y. M., Peyrin F., Goutter R. (1990): The use of two-dimensional Hilbert transform for Wigner analysis of 2D real signals. Signal Processing, 19, 205–220.
- Zsellér P. (1982): Hilbert-transzformáció felhasználása reflexiós szeizmikus hullámok pillanatnyi frekvenciájának meghatározásához. Magyar Geofizika, 23, 151–158.