

Numerikus módszerek az összeolvadási felszín szöveti tulajdonságainak CT-vizsgálatában

SEBŐK Szilvia

SZTE, Természettudományi Kar, Földtani- és Őslénytani Tanszék, 6725, Szeged, Egyetem u.2, e-mail: seboksz@geo.u-szeged.hu

Numerical methods in the analyses of small scale texture feature of amalgamation- surfaces by computerized X-ray tomography

Abstract

The amalgamation surface as a result of changing in the arrangement of texture is one of the least frequently examined phenomena of sedimentary petrology.

The amalgamation- and erosional surfaces can be treated as relatives according to their genetics.

But in most cases the exact identification, making clear distinction between these surfaces and interpretation of them is not obvious. Thus we should deal with these conflicts as well.

Nevertheless we can deal with the question whether the amalgamation surface can be influential to small scale fluid flows. Indeed, because of small scale examination, the results can be helpful in analyzing only small scale fluidflow simulations.

The aim of research is addressed to find answers for more questions in this field:

1. Does the definition of CT provide such obvious information which is helpful in separating the amalgamation surface from its surroundings?

2. Do the applied research methods provide information about the circumstances of deposition and of transporting?

3. Can be shown other effect besides the circumstances of energy which are influential to the texture of sediment?

Because of the erosional origin the numeric difference of texture can first of all be expected to appear above and below the amalgamation- and erosional surfaces.

The question is the manifestation of these differences in the spatial continuity features of the sedimentary texture.

Can the developing process of the amalgamation surface cause deviation in the parts taking place above and below the surface?

What source of differences can be experienced along the surface?

At the present state of the surveys the results of examination could not be representative. It should be regarded as a first step of a series of examinations.

Keywords: amalgamation surface, autocorrelation, CT, grainsize

Összefoglalás

Az összeolvadási felszín, mint változás a szöveti elrendeződésben, az üledékes kőzetben egyik legkevésbé vizsgált jelensége. Az összeolvadási és eróziós felszín genetikáját tekintve közel áll egymáshoz. Egzakta azonosításuk, elkülönítésük és értelmezésük azonban sok esetben nem egyértelmű, vagy vitatott.

Vizsgálataim célja választ találni arra, hogy:

1. A CT felbontóképessége szolgáltat-e olyan információkat, melyek segítségével az összeolvadási felszín egyértelműen elkülöníthető környezetétől?

2. Az alkalmazott vizsgálati módszer szolgáltat-e információkat a hordalékszállítás és a leülepedés energiaviszonyairól, melyek között az üledéktest felhalmozódott?

3. Kimutatható-e az energiaviszonyokon kívül más hatás, ami befolyásol(hat)ta az üledékes szövetet?

Az eróziós eredet miatt a szövet numerikus különbségei elsősorban az összeolvadási és eróziós felszínnek alatti és feletti részeken várhatóak. A kérdés ezen eltérések megnyilvánulása az üledékes szövet térbeli folytonossági tulajdonságaiban. Okoz-e eltéréseket az összeolvadási felszín kialakító folyamat az alatta és a felette elhelyezkedő részekben, és ha igen, milyeneket? Milyen hatással van az összeolvadás a szövet tulajdonságaira, illetve melyek azok a geostatistikai módszerek, melyekkel ez leginkább nyomon követhető?

Az eredmények jelen vizsgálati szakaszban még nem jelentenek teljes körű reprezentativitást, és csak egy vizsgálat sorozat első lépcsőfokaként értelmezhetők.

Tárgyszavak: összeolvadási felszín, autokorreláció, CT, szemcseméret

Bevezetés

Az összeolvadási és az eróziós felszín fogalma, elkülönítése, értelmezése

Az eróziós és összeolvadási felszín, mint szedimentológiai fogalmak eredetüket tekintve közel állnak egymáshoz. Pontos meghatározásuk azonban esetenként problémákba ütközhet. Az egzakt értelmezéshez Balogh K. kőzetszerkezetről és szövetéről alkotott definícióit vettem alapul (BALOGH & MOLNÁR 1972). Ezek szerint kőzetszerkezet alatt „a heterogén kőzet vagy kőzettest ama tulajdonságait értjük, amelyekben a szomszédos kőzetrészletek vagy kőzettestek szöveti vagy összetételbeli különbségei tükröződnek”. A szövet „a homogén kőzet vagy ásvány aggregátum azon makro vagy mikroszkópos sajátossága, amit annak kristályosságai foka, szemcséinek vagy egyéb alkotórészeinek alakja és egymáshoz való viszonya alakít ki.” (BALOGH & MOLNÁR 1972). A fenti meghatározások, és RICCI LUCCHI (1995) az eróziós felszín természetéről alkotott elképzelése alapján a következő megállapításokat tehetjük:

A két felszín genetikáját összehasonlítva elmondható, hogy mindkettő eróziós eredetű. A különbség a diszkontinuitás jellegéből és természetéből adódik. Az összeolvadási felszín rétegen belüli diszkontinuitásként értelmezhető, mely esetben az eróziót két azonos vagy hasonló kőzettípus összeolvadása okozza (RICCI LUCCHI 1995). Ezzel szemben az eróziós felszín rétegek közötti diszkontinuitást jelent. Ebből adódóan az első esetben egy szöveti jellegzetességgel, a második esetben üledékszerkezeti jeggyel állunk szemben.

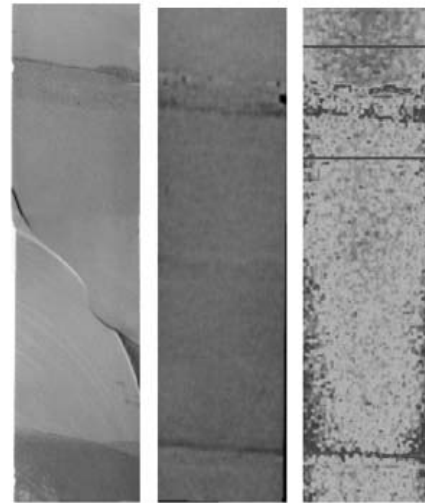
Másként megfogalmazva: az összeolvadási felszín egy szöveti elrendeződésben bekövetkezett változásban nyilvánul meg, mely kizárólag a felhalmozódással egyidejű, szinkron folyamatok által alakul ki. Ezzel szemben az eróziós felszín a két eltérő kőzettípus közötti fokozatos átmenet hiánya alakítja ki. Az eróziós felszín kialakulása lehet szinkron vagy diakron folyamat eredménye is. A diakron folyamat azt jelenti, hogy az erózió diszkrét, fokozatos lépésekben történt, és nagyobb geológiai időt ölel fel. (RICCI LUCCHI 1995)

MATTERN (2002) tanulmányában az összeolvadási felszín két turbidit közötti eróziós kapcsolat eredményének tekinti, mely az egyértelmű lefejeződés jele. Mattern szerint legtöbb esetben az összeolvadási felszín alatt homokot, felette pedig durvaszemű homokot, illetve aprószemű kavicsot találunk. Csak kevés esetben jelenik meg az összeolvadási felszín alatt és fölött is homok. Ezen túl, ritkán jellemző az összeolvadási felszín alatti durvaszemű homok illetve aprószemű kavics, fölött pedig homok. Mattern elkülöníti a táblás, és nem táblás megjelenésű összeolvadási felszín: ha a lefejeződés mértéke nem több, mint 2 cm, akkor táblás összeolvadási felszínről (*tabular*

amalgamation surface) beszélhetünk, ellenkező esetben nem táblás (*non-tabular*) összeolvadási felszínnel állunk szemben.

Adatkezelés, szoftverbázis

A vizsgálathoz alkalmas magminták kiválasztása a Mol Rt. által rendelkezésre bocsátott maganyagból történt. A



1. ábra. A „Mátételke 1518-1523.5” fűrőmag makroszkópos képe, a róla készült CT-felvétel és az adatpontokból megjelenített gridháló

MINDEN ÁBRAALÍRÁS ANGOLUL IS KELL.

makroszkópos vizsgálat során a mintákon az összeolvadási és az eróziós felszín jól elkülöníthető volt. (1. ábra)

A CT vizsgálatok használatának előnye a földtudományokban többek között az, hogy az objektum roncsolásmentes vizsgálata segítségével a röntgensugárzás gyengítésének változását — mely összefügg a sűrűséggel — feltérképező képekből három dimenziós megjelenítést és jellemzést tesznek lehetővé. A CT felvételek a humánvizsgálatokhoz használt CT-vel megegyező, Siemens Somatom Plus 40 típusú CT-vel történtek a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében. A CT mérések a magtengelyre merőleges irányban, két milliméterenként készültek (FÖLDES et al. 2000)

A CT működésének modelljét J. RADON dolgozta ki 1917-ben. Az első működőképes készülék az 1970-es években készült el ALLAN, M. CORMACK ÉS GODFREY N. HOUNSFIELD munkája alapján. A CT készülékek is röntgensugárzást használnak a felvételek elkészítéséhez, de előnyük a röntgennel szemben, hogy a sugarak nem filmet

exponálnak, elkerülve ezzel a kitakarási, nagyítási és sugárszóródásból adódó szűrőkülési jelenségeket. A CT esetében a sugarakat detektorok segítségével érzékelik, és a villamos jelekből nyert kép számítógép segítségével készül el.

A végeredményként kapott képmátrix 512×512 pixelből áll. Minden képpont egy értékkel rendelkezik, ami az adott térfogatelem relatív lineáris sugárgyengítését mutatja. A számítógép ezeket az értékeket egy skálához rendeli egy képlet alapján:

$$HU = \frac{K \cdot (\mu - \mu_{\text{víz}})}{\mu_{\text{víz}}}$$

ahol HU = Hounsfield Unit (Hounsfield Egység), K (const.) = 1000, ϵ = a képpontra jellemző sugárgyengítési együttható, $\epsilon_{\text{víz}}$ = a víz sugárgyengítési együtthatója. A Hounsfield skála két fix pontja a víz értéke (0), és a levegő (-1000). A legpuhább anyagok -100 és 100 közötti, míg a keményebbek, mint pl. a csont 600 és 2000 közötti H.E.-értékkel jellemezhetők (ZATZ 1981)

Minden egyes Hounsfield egység növekedés 0,1%-os növekedést jelent a sűrűségi skálán (AKIN & KORSCEK 2003).

A vizsgálathoz szükséges szoftverek részben az adat előállításához, adatkezeléshez (MVE, MedImage, Osiris, Afenébe (GEIGER 2002), részben pedig az adatok feldolgozásához, geostatistikai értelmezéséhez szolgáltatnak segítséget (Surfer 8.0., StatGraphics, SPSS 11.0).

A CT mérés eredményeként kapott Papyrus formátumú fájlokat az Osiris 4. 0., a Genfi Orvostudományi Egyetemen kifejlesztett szoftver segítségével lehet megtekinteni. A program segítségével nem csak a 2 milliméterenként készült szeletek megtekintésére, a vizsgálandó szeletek kiválasztására van mód, hanem azokon adott esetben különböző méréseket is végezhetünk. A további feldolgozáshoz azonban ebben az esetben a Papyrus fájlok dicom fájlkká való konvertálására volt szükség, mely ugyancsak az Osiris programmal valósítható meg. Az így kapott dicom kiterjesztésű fájlkból további konvertálást követően a Med Image szoftverrel könnyedén mátrix fájlokat állíthatunk elő, melyek alkalmasak a Surfer 8. 0. programban az adatok képi megjelenítésére, úgy, mint gridhálók, autokorrelogramok, statikus áramlási képek, 3dimenziós felszíni megjelenítések előállítására.

Ez a módszer azonban csak a magtengelyre merőleges irányú CT szeletek elemzéséhez használható, ugyanis a mag hosszúsága miatt a hossz tengellyel párhuzamos mérések esetében a magdarabban árnyékzónák alakultak ki, mivel a röntgensugárzás intenzitása függ az anyagvastagságtól, és itt a Hounsfield-értékek kisebbnek jelentkeznek a valósánál, nehezítve azok helyes értékelését. Ezért szükség volt egy, a hossz tengelyre merőleges szeletekből az eredeti magtérfogatot előállítani képes programra (Afenébe, GEIGER 2002). Az így kapott magtérfogat már alkalmas volt egy hosszanti metszet előállítására bármely tetszőleges sík

mentén, amely kellő pontossággal szolgálta a további statisztikai módszereket.

Az adatok statisztikai értelmezéséhez a StatGraphics és a SPSS 11. 0 programokat használtam.

Alkalmazott vizsgálati módszerek

A vizsgált minta összeolvadási felszínhez közeli szeletre kapott Hounsfield egység- adatsoron a térbeli folytonosság vizsgálatához autokorrellációt végeztem

Az eredményként kapott korrelogram egy grid térbeli összefüggéseit mutatja meg. Kifejezi, hogy a gridet felépítő értékek milyen mértékben függenek össze a grid mentén, valamint, megadja az adatpontok mögött rejlő trendeket, és a grid anizotrópiájának mértékét. A korrelogram szimmetrikus. A síkbeli korrelogram kiterjedése azonos az eredeti grid kiterjedésével, de a tengelyek elkülönülő távolságokat jelölnek.

Az értelmezéshez három fontos általánosságot kell hangsúlyozni:

— A törmeléken üledékes kőzetek esetében a Hounsfield-értékek jól korrelálnak a térfogati sűrűséggel, az atomszámmal, a porozitással, a kőzet víztartalmával és a kémiai összetétellel (HUNT et al. 1998, KNOLL 1989, BOESPLFLUG et al. 1995).

— A törmeléken üledékes kőzeteket vizsgálva a Hounsfield-értékek értelmezése csak közel azonos korú és genetikájú (azonos vagy hasonló felhalmozódási folyamatok és környezet) üledékek esetében adhat egzakt eredményeket (HUNYADFALVI 2004, 2006; GEIGER et al. 2007), mert a sugárgyengítési érték nagysága függ a kőzet korától.

— A Hounsfield-érték függ a szövet durvaságától. Azonos korú és hasonló fejlődéstörténettel rendelkező kőzetek közül a finomabb szövet sugárgyengítési együtthatója magasabb, min a durvább szemcseméretű (HUNYADFALVI 2006).

Az összeolvadási felszín fluidum-áramlásokra való lehetséges hatásait a Laplace-operátor segítségével vizsgáltam (GEIGER 2002). A Laplace-operátor egy differenciál és integrál műveleti jel. Egy felszínt vizsgálva megadja az áramlás és az elnyelődés mértékét. Az áramlási területek pozitív, míg a gyűjtő területek negatív értékkel jelentkeznek. A Laplace operátor által megadott érték ($\nabla^2 Z$) az a matematikai eszköz, mely számszerűsíti, hogy adott fizikai feltételek mellett a gridhálón belüli áramlásra hatással van-e egy helyi befolyásoló tényező, vagy sem. A Laplace-formula értékét egy többváltozós számítási eljárással lehet megadni:

$$\nabla^2 Z = \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2},$$

ahol Z a vizsgált tulajdonság (jelen esetben a Hounsfield-értékek), x és y a mérési pontok távolsága az adatmátrixban x , illetve y irányban (koordinátpontok).

Ezt a Surfer egy általános, ötváltozós formulából számított griddel egészíti ki, melyben a koordináták az alábbi képlet segítségével számolhatók:

$$\nabla^2 Z(x, y) = \frac{Z_E - 2Z + Z_W + Z_n - 2Z + Z_s}{\Delta x^2} + \frac{Z_n - 2Z + Z_s}{\Delta y^2},$$

ahol Z , Z_E , Z_W , Z_S , Z_n öt vizsgált tulajdonságot jelöl.

Az adatpontok normál eloszlástól való eltérésének meghatározásához normalitásvizsgálatot végeztem.

A normál eloszlás a természetben akkor fordul elő, ha sok, egymástól független tényező hatása összeadódik. Ebből kiindulva az összeolvadási felszínt kialakító folyamat, vagyis az erózió hatása az adatpontok normál eloszlástól való eltérésében fog mutatkozni. A vizsgálat eredményeként kapott normál valószínűségi grafikonon (*Normal Probability Plot*) egy olyan grafikonon, mely egy aritmetikus horizontális tengelyből áll (az adatpontok értékeinek skálája), és egy függőleges tengelyből, mely megfelel a normáloszlás-grafikonok kumulatív eloszlásfüggvényének, melyet egy egyenes vonal jelöl. Minél közelebb van az adatpont ehhez a referenciaegyeneshez, annál nagyobb valószínűséggel követik a normál eloszlást.

A grafikon segítségével megítélhető, hogy az adatok normáloszlással jellemezhetőek-e, vagy sem. A referenciaegyenes a mediánt keresztezi, és lejtését az interkvartilis tartomány határozza meg. Ha az adatpontokból álló görbe jelentős görbületet mutat, arra utal, hogy az alkotó adatpontok nem normál eloszlással jellemezhető sokaságból származnak.

A fentebb említett Hounsfield-értékek értelmezési szempontjait figyelembe véve megállapítható, hogy a finomabb szövetű üledékek nagyobb Hounsfield-értékekkel jelentkeznek a mérés során. Ez alapján, a mért Hounsfield-skálán belül elkülöníthető a három fő szövetdurvasági fokozat az üledékes kőzetben belül. A gyakorlati eloszlásvizsgálat megmutatja, hogy egy bizonyos értékkel jellemezhető, n tagból álló osztályt alkotó adatpontok mekkora gyakorisággal vannak jelen a vizsgált sokaságon belül. A gyakorlati eloszlásvizsgálat eredményeként kapott hisztogram legtöbb információt szolgáltató jellemzője a módus, és a hisztogramra illeszthető gyakorlati görbe lefutása. A hisztogramról leolvasható a fő módust kialakító szemcsetartomány, és hogy a főmódust kialakító folyamat mellett az üledékes szövet kialakulásában szerepe volt-e alárendelten más folyamatnak, melynek hatása mellék-módussal jelentkezik a szövetet jellemző $H.E.$ -értékek gyakorisági eloszlásgrafikonjában.

Mivel az összeolvadási felszín fölötti és alatti *össz H.E.*-értékek nem normál eloszlással írhatók le, az M -becslés (*Maximum likelihood*) módszerével megbecsülhetőek a legnagyobb valószínűség értékei a vizsgált adatsorokban. Az M -becslés során a kiugró értékek kisebb súllyal számítanak, mint a közephez közelebbi értékek, ezért alkalmazása pontosabb eredményt adhat a középérték, vagy

a medián megbecslésében. Olyan robusztus becslés, amely nem érzékeny sem az extrém és kiugró értékekre, sem az adathalmaz aszimmetrikus jellegére (GEIGER 2007).

A maximum likelihood becslést Kolmogorov–Smirnov-teszttel kiegészítve az adatokról kirajzolódó kép pontosítható. A teszttel kiszűrhető, hogy az adatok azonos eloszlással írhatók le, vagy sem. Kolmogorov–Smirnov-teszt elég érzékeny ahhoz, hogy bármilyen alaki vagy helyi hasonlóságot felismerjen, ezért alkalmas a finom szöveti változásokhoz kapcsolódó vizsgálatokra is. A teszt a két minta kumulatív eloszlása közti legnagyobb távolság számításán alapszik.

Az egyes szemcsetartományok összeolvadási felszín fölötti és alatti magrészein való jelenléti mértékének meghatározására Box-plot analízist használtam.

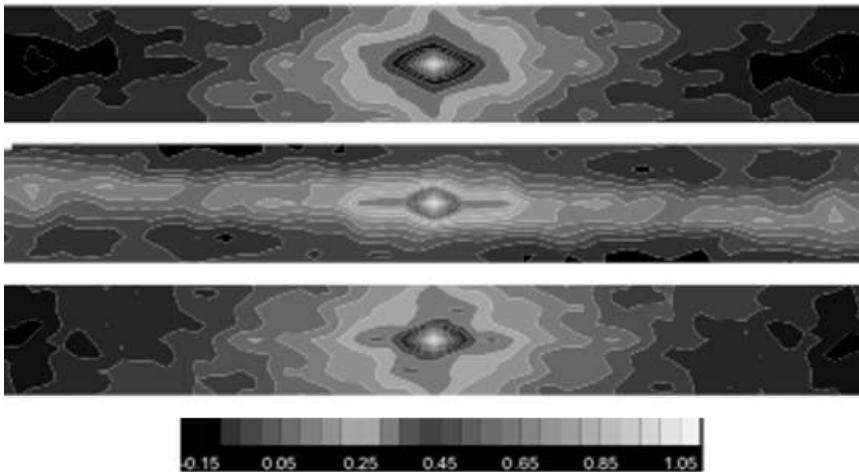
Az összeolvadási felszín meghatározása a vizsgált mintán

A vizsgált mag alsó 4-5 centiméterét finomszemű aleurolit építi fel, erre finomhomokos középszemű szerkezetnélküli homokkő települ, ami összeolvadási felszínnel fokozatosan durvaszemű homokba megy át. Erre 0,5–1 centiméteres nagyobb szervesanyag-tartalmú, finomhomokos durvaszemű aleurolitréteg, majd finomszemű homok települt. A mintában a makroszkópos vizsgálat során az összeolvadási felszín környezetétől jól elkülöníthetően jelenik meg. A felszín a CT-képen, és a magtengelyre merőleges szeletek egymásra helyezésével, és tengellyel párhuzamos elmetszésével képzett felület adataiból a *Surfer 8.0*-ban előállított griden is meghatározható. A vizsgált magrészt (az *1. ábrán* keretezve) további három részre osztottam: az összeolvadási felszín alatti rész, az összeolvadási síkja, és az összeolvadási felszín fölötti rész. A vizsgált rész kiválasztásának szempontjai között szerepelt, hogy közel azonos nagyságú, azonos adatpontot tartalmazó részt válasszak ki a kapott eredmények összevethetősége miatt

Az üledékes szövet térbeli folytonossági tulajdonságainak vizsgálata a felszín mentén és közvetlen környezetében

Az eróziós eredet miatt a szövet numerikus különbségei elsősorban az összeolvadási és eróziós felszín alatti és feletti részekben várhatóak. A kérdés ezen eltérések megnyilvánulása az üledékes szövet térbeli folytonossági tulajdonságaiban.

A vizsgálat eredményeként kapott korrelogram (*2. ábra*) felvilágosítást adhat a szövet kialakulása során, illetve később fellépő, a szövetet befolyásoló folyamatok folytonossági irányáról és azok hatástávolságáról. A korreláció függőleges kiterjedésének mértéke a geológiai folyamat, külső hatás időbeni kiterjedésére, a geológiai időre utal. Segítségével megállapítható, hogy az adott szövetre egy



2. ábra. Az összeolvadási felszín fölötti, a felszíni, és a felszín alatti szövetre jellemző H. E. értékek síkbeli autokorrelogramjai

hirtelen lejártszódo, rövid ideig tartó, random jellegű folyamat volt hatással, vagy egy nagyobb geológiai időtartamot felölelő, lassú folyamat, esetleg ismétlődő jellegű eseménysorozat

Az adatok közötti korrelációt az összeolvadási felszín alatti és fölötti részen, valamint az összeolvadási felszín mentén külön-külön vizsgáltam (2. ábra).

Megállapítható, hogy az összeolvadási felszín alatt és fölött egy hosszabb geológiai idő alatt kialakult szöveti elrendeződés jelenik meg, melynek kialakulása egy lassabb folyamat eredménye volt (2. ábra C és A)

Az összeolvadási felszín alatti részt vizsgálva az autokorrelogram szimmetriájából következtetve a szövetet áramlásból való kiülepedés befolyásolta (2. ábra C.).

Az összeolvadási felszín felett a szöveti elrendeződést „nyugodtabb” környezet, kiegyensúlyozottabb energia-viszonyok határozták meg (2. ábra A).

Az összeolvadási felszín mentén egy rövidebb időpillanat alatt, hirtelen lejártszódo esemény jelent meg, melynek szöveti elrendeződésre gyakorolt hatása horizontális irányban fokozottabb (2. ábra B).

A H.E.-értékek¹ gyakorisági eloszlása

A Hounsfield-érték függ a szövet durvaságától. Az azonos korú és hasonló fejlődéstörténettel rendelkező kőzetek közül a finomabb szövet sugárgyengítési együtthatója magasabb, mint a durvább szöveté. (HUNYADFALVI 2006).

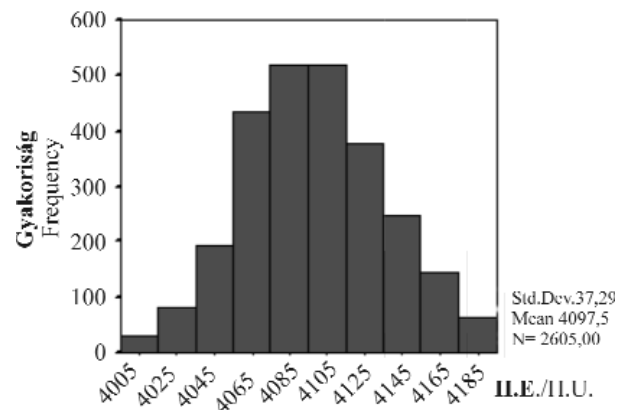
Ez alapján A Hounsfield-értékek és a szemcseméret közötti fordított arányosság áll fenn, miszerint a nagyobb H. E. finomabb szövetet jelöl. Az összeolvadási felszín alatti részre vonatkozó H.E.-értékek gyakorisági eloszlását vizsgálva, — ami a továbbiakban az összehasonlítás alapját

¹ H.E.= Hounsfield Egység, adott voxelre vonatkozó sugárgyengítési együtthatóból számolt érték.

fogja képezni — 10 osztályközt vizsgálva megállapíthatjuk, hogy az összeolvadási felszín alatt a H.E.-értékek gyakorisági eloszlása egymódusú: (4080–4115 H.E.), a finom szemcsefrakció túlsúlya jellemző. A gyakoriság a nagyobb sűrűség felé egyenletesebb, fokozatosabb átmenettel jelentkezik, ami kiegyensúlyozottabb energia-viszonyokra utal, és ez alapján fokozatosan csökkenő energiájú áramlásból való kiülepedés valószínűsíthető (3. ábra)

Az összeolvadási felszín alatti rész szöveti elrendeződésének ismeretében az összeolvadási felszín természetéből kiindulva az összeolvadási felszín feletti részre vonatkozóan várható volt, hogy a sűrűségi értékek átlaga kisebb lesz

(jelentősen megnő a durva frakció aránya), és a A H.E.-értékek tartománya megnő. További feltételezés volt, hogy a medián a kisebb H.E.-értékek (durvább frakció) felé fog eltolódni, és az össz- H.E.-értékre számított hisztogramban mellékmódus fog jelentkezni. Továbbá az eróziós jelleg miatt nőni fog a kis sűrűség gyakorisága, de az uralkodó szemcsetartomány a közepes szemcseméret (vagyis a közepes sűrűség) marad. Ezzel együtt az összeolvadási felszín felett megnő a közepes szemcseméret előfordulási gyakorisága is, valamint nőni fog az adatpontok szórása a tartományon belül.

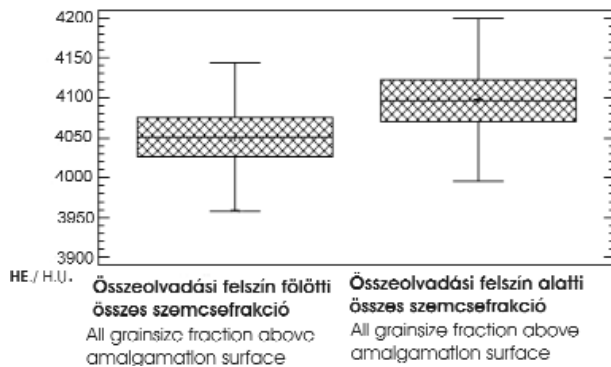


3. ábra. A H.E. értékek 2 gyakorisági eloszlása az összeolvadási felszín alatt

Az elvégzett számítások eredményét kiértékelve elmondható, hogy az összeolvadási felszín felett a H.E.-értékek átlaga valóban kisebb lett (I. táblázat). A medián az elvárásnak megfelelően a kisebb H.E.-értékek felé tolódott el (I. táblázat és 4. ábra)

I. táblázat. Az összeolvadási felszín alatti és fölötti közetszövetre jellemző mérési adatokból számolt jellemzők

	Összeolvadási felszín alatt Under amalgamation surface	Összeolvadási felszín fölött Above amalgamation surface
Count	2627	2600
Average	4098,31	4051,6
Median	4097	4051,5
Std.Dev/	38,2173	34,2341
Minimum	3996	3954
Maximum	4200	4144
Std.skewness	3,46767	2,43468
Std.kurtosis	-2,3423	-4,4348



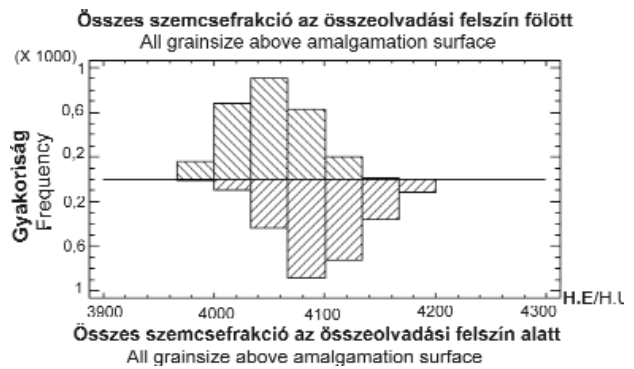
4. ábra. Az összeolvadási felszín fölötti és alatti szövetre jellemző H.E. értékek megjelenítése box-plotban (A medián piros nyílal jelölve)

A kis *H.E.*-értékkel jellemezhető összetevők aránya valóban megnőtt az összeolvadási felszín alatti részhez viszonyítva, és az uralkodó szemcsetartomány a közepes szemcseméret maradt. Azonban az összeolvadási felszín felett nem nőtt meg a közepes szemcseméret előfordulási gyakorisága, és az össz-*H.E.*-értékre számított hisztogramban sem jelentkezett mellékmódus. A várakozással ellentétben nem nőtt meg a sűrűség tartomány sem 5. ábra).

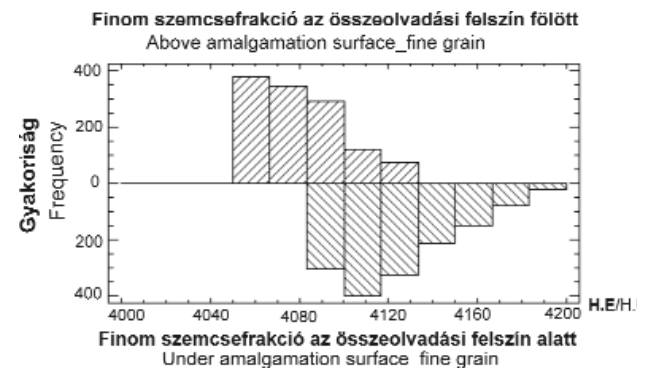
Az egyes szemcsefrakciókat összehasonlítva az összeolvadási felszín fölött és alatt a következő eredmények adódtak:

A finom frakció jelenléte kis mértékben csökken az összeolvadási felszín fölött, és a szövet feldurvulása jellemzi (6. ábra). A közepes szemcsetartományban a felszín fölött mellékmódus jelentkezik (7. ábra). A felszín felett nő a durva szemcsetartomány részaránya (8. ábra):

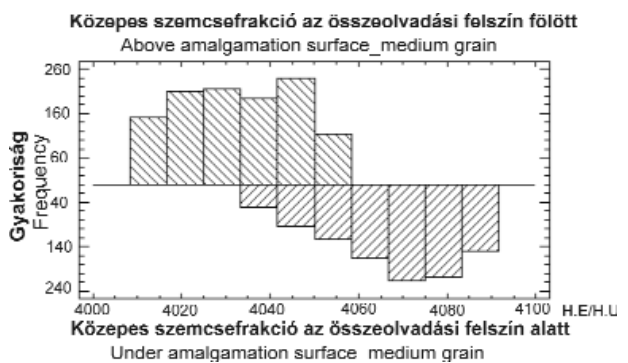
A fenti eredményeket alátámasztja a normalitásvizsgálat eredménye is az egyes szemcsetartományokat összehasonlítva az összeolvadási felszín fölött és alatt. A grafikonokról leolvasható, hogy az összeolvadás, illetve az



5. ábra. Az összeolvadási felszín alatti és fölötti szövetre jellemző H. E. értékekből számolt gyakoriság



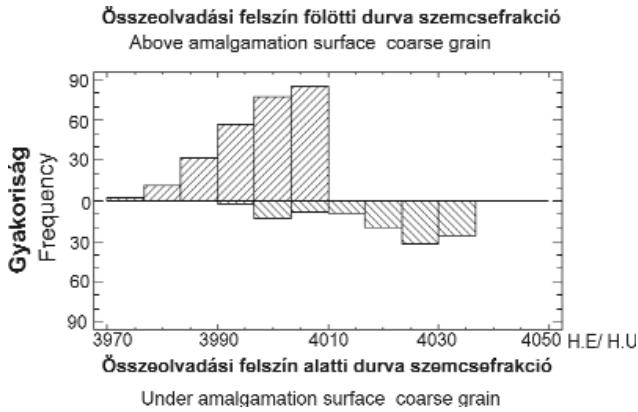
6. ábra. A finom szövet gyakoriságának összehasonlítása az összeolvadási felszín fölött és alatt



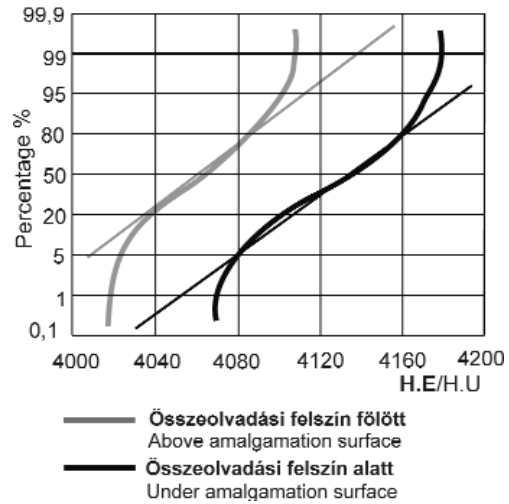
7. ábra. A közepes durvaságú szövet gyakoriságának összehasonlítása az összeolvadási felszín fölött és alatt

erózió hatása leginkább az összeolvadási felszín fölött, a durva szemcsetartomány értékeiben jelentkezik, mely jó korrelációt mutat az erózió során fellépő energiaviszonyokkal. Az addig a szövetet befolyásoló folyamatoktól eltérő folyamat megjelenésére utal a görbe geometriájának eltérése az összeolvadási felszín alatti szövetet jellemző alakjától. (11. ábra, C) Ez a hiv. itt nem maradhat.

Az értékek szórásának tekintetében a 9. és 10. ábrán jól látszik hogy az összeolvadási felszín fölött nő az értékek

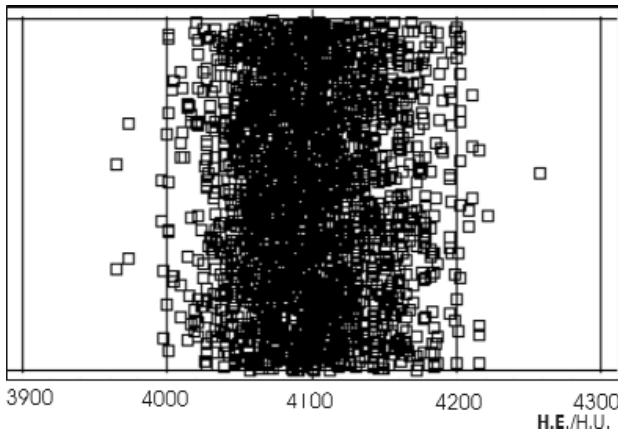


8. ábra. A durva szövet gyakoriságának összehasonlítása az összeolvadási felszín fölött és alatt

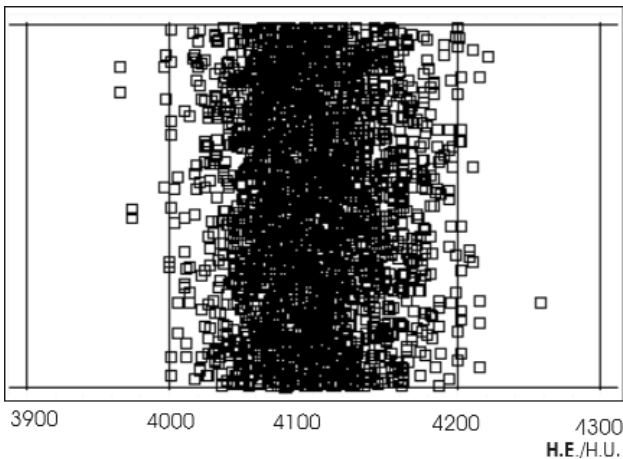


11. ábra. A H. E. értékek normalitása az összeolvadási felszín alatt (kék szín) és felett (piros szín) az egyes frakciókban

- A) Finom szövet
- B) Közepes durvaságú szövet
- C) Durva szövet EZEK HOL VANNAK??



9. ábra. A H. E. értékek szórása az összeolvadási felszín alatt



10. ábra. A H. E. értékek szórása az összeolvadási felszín fölött

szóródása.

Az összeolvadási felszín alatti és fölötti adatsorok szignifikáns különbségét mutatta ki a maximum likelihood becslés eredménye is (II., III. táblázat). A leggyakrabban

II. táblázat. Az M-becslés eredménye az összeolvadási felszín fölött

M-Estimators				
	Huber's M-Estimator ^a	Tukey's Biweight ^b	Hampel's M-Estimator ^c	Andrews' Wave ^d
H.U.	4050.4269	4050.5111	4050.5463	4050.5172

- a. The weighting constant is 1.339.
- b. The weighting constant is 4.685.
- c. The weighting constants are 1.700, 3.400, and 8.500
- d. The weighting constant is 1.340*pi.

III. táblázat. Az M-becslés eredménye az összeolvadási felszín alatt

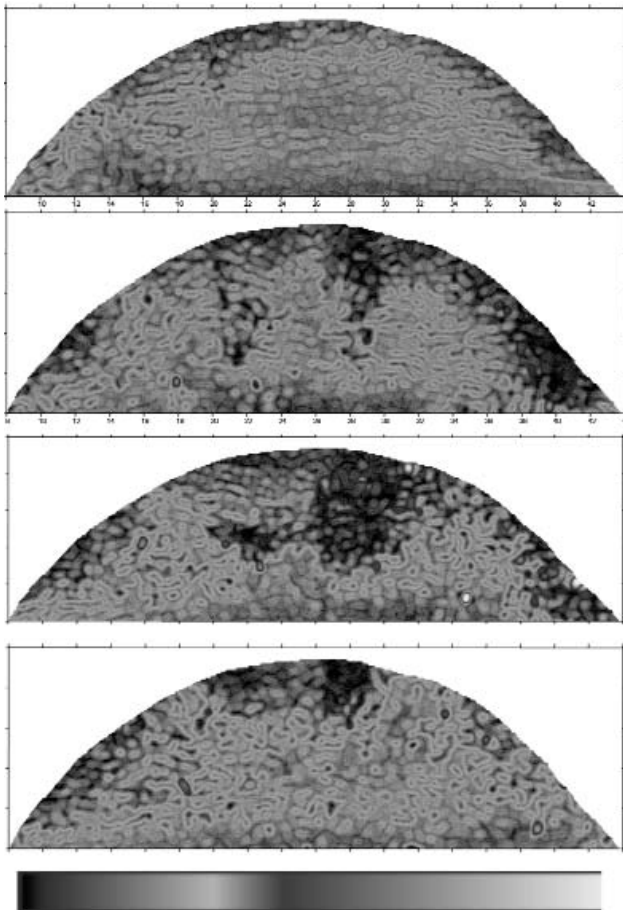
M-Estimators				
	Huber's M-Estimator ^a	Tukey's Biweight ^b	Hampel's M-Estimator ^c	Andrews' Wave ^d
H.U.	4096.5558	4096.5757	4096.7950	4096.5905

- a. The weighting constant is 1.339.
- b. The weighting constant is 4.685.
- c. The weighting constants are 1.700, 3.400, and 8.500
- d. The weighting constant is 1.340*pi.

használt maximum likelihood középértékek a Hampel-, Tukey-, Huber-, és Andrew-féle átlagok. Az összeolvadási felszín fölött és alatt várható középértékek között minden esetben 10 H.E.-nél (mérési zajból eredő lehetséges eltérés mértéke) nagyobb különbség adódott, ezért az adatok statisztikailag szignifikánsan különböznek egymástól.

Az összeolvadási felszín lehetséges hatása a kisléptékű fluidum-áramlásokra

A vizsgálat célja volt felmérni, hogy az összeolvadási felszín, mint szöveti elrendezésben beállt változás,



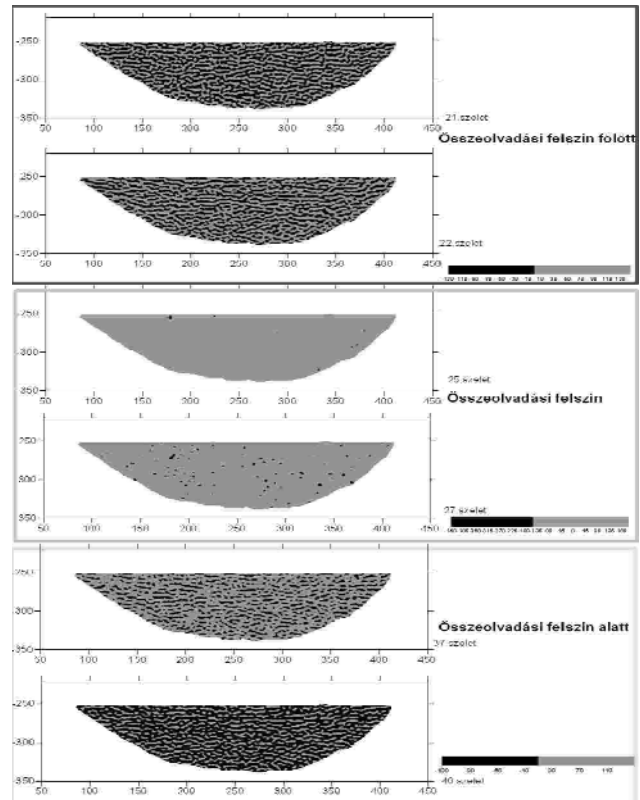
12. ábra. Az összeolvadási felszín megjelenése a magtengelyre merőleges metszetekben. A 2 mm-enként készült szeletek Surfer 8.0-ban megjelenített gridhálói

menyiben befolyásolja a kisléptékű fluidum-áramlásokat akár horizontális, akár vertikális irányban.

Az összeolvadási felszínnek a kisléptékű fluidum-áramlásokra gyakorolt hatását először a magtengelyre merőleges szeleteken vizsgáltam (horizontális folyadékmozgásra gyakorolt hatás).

Erre legmegfelelőbb eszköznek az adatpontokra illeszthető gradiens-vektorok által kirajzolt kép bizonyult. Az elemzést 4, az összeolvadási felszín közvetlen közelében, illetve a felszín mentén kiválasztott szeleten végeztem. Az 12. ábrán a Surferben interpoláció nélkül, Nearest Neighbour algoritmus alapján megjelenített gridhálón is nyomon követhető az összeolvadási felszín hatása a szöveti elrendeződésre. Az első szelet közvetlenül a felszín alatti részt ábrázolja, a további három szelet fokozatosan az összeolvadási felszín felé haladva került kiválasztásra, és jól reprezentálja a szövetben fellépő $H.E.$ -értékbeli változásokat, a szöveti elrendeződésben illetve a szövetet felépítő uralkodó szemcsetartományban beálló változásokat.

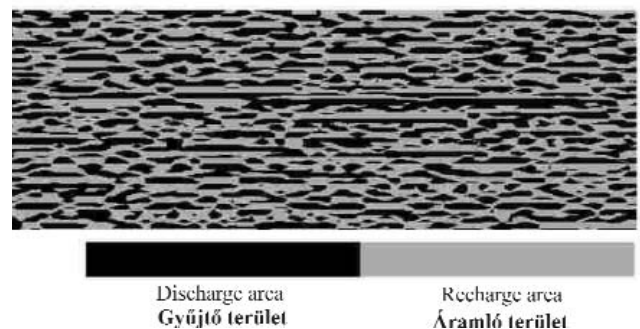
A 13. ábráról leolvasható az összeolvadási felszínnek egy feltételezett horizontális irányú fluidum-áramlásra



13. ábra. Az összeolvadási felszín lehetséges hatása feltételezett horizontális irányú fluidumáramlásra (statikus áramlási kép Laplace-operátorral számolva)

gyakorolt lehetséges hatása (statikus áramlási kép Laplace operátorral számolva). A vizsgálathoz 6 darab, a magtengelyre merőleges szeletet választottam ki, kettőt-kettőt az összeolvadási felszín alatt, fölött, és az összeolvadási felszín mentén. A statikus áramlási képeken szürke színnel rajzolódnak ki azok a területek, ahol egy feltételezett áramlás akadálytalanul végbemehet, feketével pedig a szétáramlási területek. Az áramlási pályák az összeolvadási felszínen határozottabban jelentkeznek, mint az összeolvadási felszín alatti és feletti részben.

A vertikális irányú folyadékmozgásra gyakorolt hatás vizsgálatát a magtengellyel párhuzamos irányú metszeten



14. ábra. Az összeolvadási felszín lehetséges hatása feltételezett vertikális irányú fluidumáramlásra (statikus áramlási kép Laplace operátorral számolva)

végeztem. Miután a tengellyel párhuzamos metszet a tengelyre merőleges metszetek egyesítésével, és az így kapott magtérfogat tengellyel párhuzamos síkban való elmozdításával készült, a tengellyel párhuzamos metszeten alkalmazott gradiensvektor-illesztéses módszer téves eredményt adna, ezért helyette a Laplace formulát használtam. A statikus áramlási képen (14. ábra) azok a szöveti részek, ahol a folyadékmozgás lehetősége fennáll, szürke színnel jelentkeznek, míg a gyűjtő területek, ahol áramlás nem történik, fekete színnel rajzolódnak ki.

Eredmények, következtetések

A vizsgált minták alapján a CT felbontóképessége a Surferben megjelenített gridháló alapján lehetővé tette az eróziós felszín elkülönítését. Az alkalmazott vizsgálati módszerek közül elsősorban az autokorreláció, másodsorban az eloszlásvizsgálat szolgáltatott információkat a hordalékszállítás és a leülepedés energiaviszonyairól melyek között az üledéktest felhalmozódott. A felhasznált vizsgálati módszerek segítségével nem mutatható ki a szállítási energiaviszonyokon kívül más hatás, ami befolyásolta volna az üledékes szövetet.

Az üledékes szövet kialakításában szerepet játszó energiaviszonyok megváltozása nem volt akkora mértékű, hogy az össz-H.E.-értékre számított hisztogramban mellék-módust hozzon létre és a H.E.-értéktartomány jelentős növekedését eredményezze. Azonban a közepes szemcse-tartományban a felszín fölött jelentkező mellékmódus jól jelzi az összeolvadást, ill. az eróziós jelleget.

A Kolmogorov–Smirnov-teszt alapján az összeolvadási felszín alatt és feletti adatsorok eloszlásában statisztikailag

IV. táblázat. A Kolmogorov–Smirnov-teszt eredménye

KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST	
Estimated overall statistic DN	0,477376
Two-sided large sample K-S statistic	17,3833
Approximate P-value	0

jelentős különbségek vannak a 95%-os konfidencia szinten IV. táblázat).

A Laplace-operátorral készült statikus áramlási képek alapján megállapítható, hogy a vizsgált mintában az összeolvadási felszín a kis léptékű, vertikális irányú fluidum-áramlásokat prognosztizálhatóan kis mértékben befolyásolhatja, lassíthatja. Az összeolvadási felszín nem képez záró réteget, de kisebb gyűjtő területek kialakulását lehetővé teszi lassíthatja a függőleges fluidum-áramlást. A lassítás mértéke függ az összeolvadási felszín vertikális kiterjedésétől a felépítő kőzet szemcseparamétereitől, és az összeolvadási felszínt kialakító folyamatok energiaviszonyaitól.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani, dr. Geiger Jánosnak, és Hunyadfalvi Zoltánnak, hogy munkámat tanácsaikkal, észrevételeikkel segítették, valamint a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetének, hogy lehetővé tették a mérések elvégzését, név szerint Prof. dr. Bogner Péternek, Földes Tamásnak és Tokai Richárdnak.

Irodalom — References

- AKIN, S. & KORSCEK, A. R. 2003: Computed tomography in petroleum engineering research. — In: MEES, F., SWENNEN, R., VAN GEET, M. & JACOBS, P. (eds): Applications of X-ray computed Tomography in the Geosciences. *Geological Society, London, Special Publications* **215**, 23-38.
- BALOGH K. & MOLNÁR B. 1972: *Üledéktani gyakorlat*. — JATE, Szeged, 1 p. EZ TÉNYLEG 1 OLDAL?
- BOESPFLUG, X., LONG, B. & OCCHIETTI, S. 1995: CAT-scan in marine stratigraphy: a quantitative approach. — *Marine Geology* **122**, pp. 281-301.
- FÖLDES, T., KISS, B., ÁRGYELÁN G., BOGNER, P. & REPA, I. 2000: Application of medical computer tomograph measurements in 3D reservoir characterisation. — EAGE SAID Conference, Paris, France. OLDALSZÁM
- GEIGER, J. 2007: *Geomatematika*. — Jate Press, Szeged, 55-56.
- HUNT, P. K., EUGIER, P. & BAJAROWICZ, C. 1988. Computed tomography as a core analysis tool: applications, instrument evaluation, and image improvement techniques. — *Soc. Pet. Eng.*, 1203-1210.
- HUNYADFALVI, Z. 2004: Heterogeneity analysis of clastic sediments by computerized X-ray tomographs. — *Acta Geologica Hungarica* **47/1**, 53-62.
- HUNYADFALVI Z. 2006: Kisléptékű heterogenitás vizsgálatok törmelékes üledékekben röntgen computer tomográf segítségével. — *Kézirat*, Doktori (PhD) értekezés, SZTE Földtani és Őslénytani Tanszék. OLDALSZÁM
- KETCHAM, R. A. & CARLSON, W. D. 2001: Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. — *Computer & Geosciences* **27**, 381-400.
- KNOLL, G. F., 1989: Radiation detection and measurement. — Wiley, New York. OLDALSZÁM
- MATTERN, F. 2002: Amalgamation surfaces, bed thickness, and dish structures in sand rich submarine fans: numeric differences in channelized and unchannelized deposits and their diagnostic value. — *Sedimentary Geology* **150**, 203-228.
- RICCI LUCCHI, F. 1995: *Sedimentography, a Photographic Atlas of Sedimentary Structures*. — Second Edition, New York, Columbia University Press, 105 p.
- ZATZ, L. M. 1981: Basic principles of computed tomography scanning. — In: NEWTON, T. H. & POTTS, D. G. (eds): Technical Aspects of computed tomography. *Soil Science Society of America Journal* **60**, 1718-1724.

