

KISLÉPTÉKŰ HETEROGENITÁS VIZSGÁLATOK TÖRMELÉKES ÜLEDÉKEKBEN RÖNTGEN KOMPUTER TOMOGRÁF ALKALMAZÁSÁVAL

Doktori (PhD) értekezés

HUNYADFALVI ZOLTÁN

Témavezető:
Dr. Geiger János
egyetemi docens
SzTE, Földtani és Őslénytani Tanszék

Szegedi Tudományegyetem
Földtani és Őslénytani Tanszék
2006.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	3
	1.1 A téma jelentősége.....	3
	1.2 Kitűzött célok.....	5
	1.3 Megoldandó feladatok.....	5
	1.3.1 Meghatározni: mit mér a CT?.....	5
	1.3.2 Megfelelő magminták kiválasztása.....	6
	1.3.3 A mérési adatok valóságghű megjelenítése.....	7
	1.3.4 Az adatok geostatistikai, geomatematikai feldolgozása.....	7
2	Eszközök, minták.....	8
3	Módszerek.....	9
	3.1 A kép fájlok előállítása.....	9
	3.2 Az adatok kinyerése, előkészítése.....	11
	3.3 Geostatistikai, geomatematikai elemzések.....	12
4	Eredmények.....	16
	4.1 A HE függése az ásványos összetételtől, és a diagenizáltság fokától.....	16
	4.2 A HE függése a szöveti tulajdonságoktól.....	18
	4.3 A CT alkalmazhatósága az üledékes kőzetek numerikus azonosításában.....	48
	4.4 A HE értékek alapján előre jelezhető áramlási kép	59
	4.5 Üledékképződési mikro-ciklusok kimutatása HE értékek felhasználásával	66
5	Diszkusszió.....	72
6	Következtetések, javaslatok.....	75
7	Összefoglalás.....	78
8	Summary.....	83
9	Köszönetnyilvánítás.....	87
10	Felhasznált irodalom.....	88

1 Bevezetés

1.1 A téma jelentősége

Manapság a röntgen komputer tomográf a gyógyásztól kezdve, az anyagtudományokon át, egészen a földtudományokig, számtalan helyen megjelenik. A széleskörű felhasználása elsősorban annak köszönhető, hogy az anyag belső szerkezetét, felépítését mutatja meg; ugyanakkor a beavatkozás nem jár fizikai károsodással, tehát roncsolódás-mentes vizsgálatok végezhetőek el vele. Ennek a ténynek nem csupán a gyógyászatban, hanem az anyagvizsgálatokban, jelesül a törmelékes üledékes kőzetek vizsgálatában is nagy jelentősége van. A törmelékes üledékes kőzetek belső szerkezetét mutató kép azonban, az úgynevezett hagyományos röntgenfelvétel elkészítésével is előállítható (Hamblin, 1962; Calvert és Veevers, 1962; Bouma, 1964; Krinitzki, 1970; Edmondson és Allison, 1970; Huang és Stanley, 1972; Keeling et al., 1979; Axelson, 1983; Dugmore és Newton, 1992; Dulu és Mihăilescu, 1998). Az eljárásnak vitathatatlan jelentősége van a vizsgált tárgyak belső szerkezetének megjelenítésében, ennek ellenére két jelentős hátrányt is meg kell említeni. Az első, hogy az eljárás során egyetlen síkra vetítve jelennek meg a belső részletek, függetlenül azok valós térbeli elhelyezkedésétől. Következésképpen, a belső részletek térbeli helyzetére vonatkozó információk jelentős hányada elvész. A másik hátrány a sugárérzékeny emulzió úgynevezett nem-lineáris válaszához kötődik; tudni illik, az optikai sűrűség és a sugárzás elnyelt dózisének logaritmusai közötti kapcsolat szigmoid, azaz s-alakú görbével jellemezhető, és nem egyenessel (Dulu, 1999). Így az optikai sűrűség és a lineáris sugárzásgyengítési együttható között nem-lineáris függő viszony áll fenn.

Ezeket a hátrányokat teljes mértékben kiküszöböli az 1973-óta alkalmazott CAT (Computer Axial Tomography), vagy CT mérés, amely a kibocsátott sugárzás elnyelődésén alapul. A hagyományos méréssel ellentétben, a CT olyan képet állít elő, amelyre nincs hatással a vizsgált szeleten kívüli anyagminőség, és így fokozott térbeli felbontást képes megjeleníteni. Első lépésben gyógyászati képalkotó eljárásként fejlesztették ki (Oldendorf, 1961; Cormack, 1963; Hounsfield, 1972). Ezt követően felgyorsult a különböző tudományterületeken történő alkalmazása (Onoe et al., 1983; Bosscher, 1993; Vago et al., 1994). A röntgen komputer tomográf földtudományokban való alkalmazása az 1980-as évek elején kezdődött. Meteorit zárványok (Arnold et al., 1982), kőületek (Conroy et al., 1984), kőzetek (Vinegar, 1986; Wellington és Vinegar, 1986; Raynaud et al., 1989; Kenter, 1989), talajok (Hainsworth és Aylmore, 1983), valamint a kőzetekben áramló fluidumok

vizsgálatával (Vinegar és Wellington, 1986; Withjack, 1988). Üledékes kőzeteket belső felépítését, az üledékes szerkezeteket is bevonták a vizsgálatokba (Wellington és Vinegar, 1987; Holler és Kögler, 1990). Vinegar et al. (1991) a homokkövek repedés hálózatát, Peyton et al. (1992) a talajok pórusméretét, Aylmore (1993) a talaj-növény-víz rendszer kölcsönhatásait, Schaoping et al. (1994) a biogén szerkezeteket, azok alakját, felépítését, Boespflug et al. (1995) a tengeri üledéket, Verhelst et al. (1996) a kőszén macerátumokat, Dului et al. (1997) a polimetallikus fémkonkréciókat, Watson és Mudra (1990) devon korú agyagpalákat, Hicks et al. (1992) és Alvestad et al. (1992) a potenciális rezervoár tulajdonságokat vizsgálta.

A röntgen komputer tomográffal előállított kép elsősorban abban különbözik a hagyományos eljárás során készítettől, hogy nem csak kép, hanem adat is egyben. A mérés során detektált adatok – amelyekből a különböző képalkotó eszközök segítségével maga a kép előállítható –, adat fájlként elmenthetőek, és numerikus formában térképező, képmegjelenítő, valamint matematikai-statisztikai programokba beolvashatóak. Több, hasonló felépítésű minta esetében, ezzel az eljárással a litológiai azonos üledék-, illetve kőzettípusok adatai összegyűjthetőek, együtt vizsgálhatóak.

A gyógyászatban használatos CT felbontó képessége ugyan a milliméteres tartomány alatt van, ez azonban a földtudományok terén bizonyos szempontból nem elegendő. Ez a felbontás, amely átlagosan 0,3-0,4 mm, nem alkalmas önálló ásványszemcsék felismerésére, a pórustér közvetlen vizsgálatára, a pórustorok méretének megállapítására. Alkalmas azonban a makró tartományban elvégzett vizsgálatok, elsősorban a szöveti változások és az ehhez kapcsolódó felhalmozódás jellegében bekövetkezett változások kimutatására. Ez azon a korábbi felismerésen alapul, hogy lyukgeofizikai mérési szelvények kiértékelése igazolta, szoros genetikai összefüggés van a vertikális üledékes sorozatok, tehát üledékes fáciesek felhalmozódás jellege és a megfelelő közetsűrűség profil között (Geiger et al., 2006). Ezáltal az orvosi CT felbontása alkalmas a térfogati sűrűségben bekövetkező változások kimutatására (Földes, 1993, Földes et al., 2000, Bogner et al., 2003).

1.2 Kitűzött célok

A dolgozatban összefoglalásra kerülő alap kutatás feladata a törmelékes üledékes kőzetek, szerkezeti jegyek numerikus feldolgozása, valamint az üledékes kőzetek szöveti és szerkezeti tulajdonságainak leírása. Az eszköz ehhez a munkához a kapcsolat, amely az üledékes kőzetek szerkezeti, szöveti tulajdonságai és a CT által alkotott kép/adat között fennáll.

Munkám célja, hogy adatokat gyűjtsék össze, majd ezeket az adatokat rendszerbe szedve, válaszokat adjak az alábbi kérdésekre: (1) A közetsűrűségen alapuló mérési eredményekből előállított képen azonosíthatóak-e az üledékes szerkezetek? (2) A törmelékes üledékes kőzetek szöveti változásai, tükröződnek-e a mért értékek változásaiban? (3) Lehet-e a különböző kőzettípusokat numerikusan azonosítani? (4) Az azonosíthatóság, milyen mértékben függ egy adott kőzetminta, valamint a mintát magába foglaló üledékes környezet geológiai fejlődéstörténetétől? (5) A mérési adatokat felhasználva, ki lehet-e mutatni gyengeségi zónákat, valamint potenciális áramlási pályákat? (6) Vajon a CT által biztosított, makroszkóposan homogén törmelékes üledékes kőzetekből származó mérési adatok, alkalmasak-e üledékképződési mikro-ciklusok kimutatására?

1.3 Megoldandó feladatok

1.3.1 Meghatározni: mit mér a CT?

A vizsgálati módszer a röntgen sugárzás elnyelődésén alapul, a CT a minta egy adott hossz tengelyre merőleges szeletén áthaladt és gyengített, sugárzási együttható eloszlását térképezi. A röntgensugár és a vizsgált anyag négy hatás révén kölcsönösen hat egymásra, ezek a hatások a Raleigh-szórás, a fotoelektromos hatás, a Compton hatás, és a párképződés (Siegbahn, 1967). Ezek a kölcsönhatások ugyanúgy függenek a foton energiától, mint az abszorber atomszámától. Egy vékony jól kollimált röntgensugár áthaladva a vizsgált anyagon a Beer törvény szerint gyengül:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

ahol I_0 a testbe belépő sugárzás erőssége, az I a testből kilépő sugárzás erőssége, μ a sugárgyengítési együttható, x a minta szélessége.

A napjainkban, használatban lévő CT berendezések 30 és 200 kV feszültség tartományában, a fent említett kölcsönhatások közül a Raleigh-szórás, a fotoelektromos és a Compton hatás tapasztalható. Ebből következik, hogy a μ sugárgyengítési együtthatóra, ebben

az energia tartományban, mind a tényleges atomszám, mind a vizsgált anyag sűrűsége hatással van (Curry et al., 1990).

A hagyományos röntgen felvételezés iránti tiszteletből, a CT képek esetében is a negatív megjelenítést alkalmazzák, ahol is a világosabb területek a nagyobb, a sötétebb a kisebb sugárgyengítési együttható értékeket jelölik. A CT-vel készült kép, egy digitális kép, amelyen bármilyen hagyományos numerikus képfeldolgozási eljárás (lágyítás, ablakolás, fény és kontraszt beállítások, stb.) alkalmazható (Gonzales és Woods, 1993).

Az adott térfogati cellákra vonatkozó sugárgyengítési együttható értékek egy numerikus térképen kerülnek ábrázolásra. Az értékeket a számítógép egy skálához rendeli, amelyet az alábbi egyenlet alapján számolhatunk ki:

$$HE = \frac{(\mu - \mu_{\text{víz}})}{\mu_{\text{víz}}} \times 1000. \quad (2)$$

A Hounsfield Egység (HE) a CT kifejlesztőjéről Hounsfieldről kapta nevét (angol nyelvű cikkekben 'Hounsfield Unit', vagy HU jelöléssel találkozhatunk). A $\mu_{\text{víz}}$ a víz sugárgyengítési együtthatója. A skála rögzített értékei a víz (0), és a levegő (-1000), a számozás a pozitív oldalon 3000-ig tart.

Amos et al. (1996) javasolta egy másik skála bevezetését is, amelyben a CTN (Computer Tomograph Number; CT szám) a Hounsfield Egységből az alábbi egyenlet alapján számolható ki:

$$CTN = \frac{HE}{1000} + 1 \quad (3)$$

A CTN alkalmazásának legnagyobb előnye a HE-vel szemben, hogy az így kapott számok közelebb állnak a minta hagyományos módon kifejezett sűrűségéhez.

Általánosságban elmondható, hogy a törmelékes üledékes kőzetek esetében a belépő sugárnyaláb gyengülése – a mérési értékek, vagy HE értékek nagysága –, függ a térfogati sűrűségtől, az atom számtól, a porozitástól, a víztartalomtól, és a kémiai összetételtől (Hunt et al., 1988; Knoll, 1989; Boespflug et al., 1995).

1.3.2 Megfelelő magminták kiválasztása

A célokként megfogalmazott kérdések megadják a kiválasztás fő szempontjait. A Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékén, illetve a MOL Rt. szolnoki magraktárában rendelkezésre álló mintákból a jellegzetes üledékes szerkezeteket,

üledéktípusokat, valamint az egyértelmű makroszkópos szöveti változást mutató mintákat választottam ki.

1.3.3 A mérési adatok valósághű megjelenítése

A mérési (HE) értékek megjelenítésénél alapvető szempont, hogy ne lépjen fel adatvesztés, tehát interpoláció nem alkalmazható, a megjelenítési mérettartomány egyezzen meg a mérés során alkalmazottéval, és a lehető legjobb felbontást biztosítsa a részletek minél jobb felismerhetősége érdekében.

1.3.4 Az adatok geostatisztikai, geomatematikai feldolgozása

A feltáró alapadat elemzés fő célja az alapvető statisztikai mennyiségek, valamint az adatok grafikus bemutatása. A statisztikai mennyiségek olyan adat-függvények, amelyek az adathalmazt numerikusan írják le (pl.: átlag, medián, módusz, várható érték, szórásnégyzet, M-becsülő), és alkalmasak arra, hogy az adatokról, valamint a populációról, amelyből az adatok származnak, képet alkothassunk. A grafikusan megjelenített adatok lehetővé teszik az adatokon belüli rendszerek és kapcsolatok összefüggéseinek bemutatását. Alkalmasak továbbá bizonyos feltételezések gyors elfogadására vagy elvetésére (pl.: normalitás vizsgálat).

A magminták gyengeségi zónáit, valamint esetleges statikus áramlási pályákat, a Laplace operátor alkalmazásával számítottam ki.

2 Eszközök, minták

A röntgen CT mérések a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében, egy Siemens Somatom Plus 40 jelű készüléken lettek elvégezve. A készülék egy 512x512 méretű rácshálóban mér, az egyes szeletek vastagsága 1 mm-től 10 mm-ig változtatható. A mérési paraméterek: 140 kV, 189 mA, 1,5 másodperces megvilágítás. A mérés történhet az adott minta hossz tengelyével (c tengely) párhuzamosan, ekkor, az úgynevezett hosszanti egyedi szeletek állnak elő, valamint a c tengelyre merőlegesen, amikor is a merőlegesek.

Az üledéktípusok kiválasztásánál igyekeztem makroszkóposan azonosítható, eltérő szöveti paraméterű mintákat választani. Vizsgáltam azonos korú és genetikájú, különböző szemcseméretű üledékeket: alsó-pannóniai homokkő – agyagmárga. Azonos szemcseméretű, de különböző korú, tehát eltérő diagenizáltsági fokon lévő üledékeket: alsó-pannóniai agyagmárga – ó-holocén finom kőzetlisztes agyag. Alsó-pannóniai szerkezet nélküli homokkővet, alsó-pannóniai dűneformát, alsó-pannóniai delta front torkolati zátony üledéket, alsó-pannóniai folyóvízi üledéket, alsó-pannóniai mélyvízi hordalékkúp lob, illetve meder üledéket, ciklikus felépítésű üledéket, és különböző terhelési szerkezeteket, üledékes vetőket.

Lehetőség nyílt, jelenleg is folyó kutatás mintáihoz tartozó mérési eredmények feldolgozására. A minták képződési környezete mélyvízi hordalékkúp bizonyos fázisai.

3 Módszerek

3.1 A kép fájlok előállítása

Az előállt mérési adatokból rekonstruált kép értelmezése akadályba ütközik, ugyanis a pixelek értéke -1000 és +3000 között bármilyen szám lehet, és ennyi szürke árnyalat megkülönböztetése az emberi szem számára lehetetlen feladat. Ezt a problémát az ablakolás nevű eljárással küszöbölhetjük ki. A teljes skála helyett annak csupán egy részét jelenítjük meg, ehhez a tartományhoz a számítógép hozzárendel 256 szürke árnyalatot, amelyet a szem már képes megkülönböztetni. Az ablak alsó, illetve felső értékénél kisebb, vagy nagyobb értékek, fekete, illetve fehér színűek lesznek.

A kimeneti DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) adatfájlok a KE Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében kifejlesztett 'MEDIMAGE' nevű program segítségével IMA kiterjesztésű, bináris képfájlokká konvertálhatóak. Ezzel párhuzamosan digitális kép fájlok is készülnek, amelyek vizualizációja bármely kép-, illetve grid kontúr megjelenítő programmal megvalósítható. A kép fájlok értelmezését jelentősen befolyásolja a vizualizációra alkalmazott eszköz felbontóképessége. A vizsgálatok kezdetén használt OSIRIS nevű program képi felbontása bizonyos esetekben meglehetősen gyenge, ezért a későbbiekben ennek az akadálnak a kiküszöbölésére a Surfer 8.0 grid megjelenítő programot használtam.

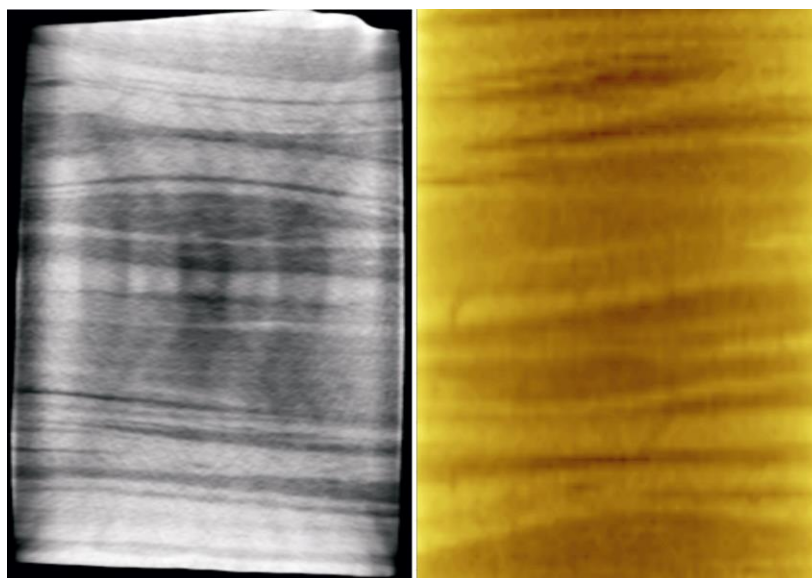
A bináris képfájlból újabb konvertálással ASCII x, y, z, HE adatfájl állítható elő, ez a mátrix fájl (MTX file). A mátrix formátum lehetővé teszi a HE változásainak megjelenítését, hasonló léptékű grid kontúrok alkalmazásával. A mátrix fájlban szereplő értékek megjelenítését olyan módszerrel érdemes elvégezni, amely során az adatpontok között további numerikus interpoláció nem történik. Ez a „Nearest neighbor” módszer alkalmazásával érhető el úgy, hogy a grid vonalak geometriájának definiálásakor a pontok közötti távolságot x és y irányban is 1-nek vesszük. Az eljárással a tényleges mérési értékek vizualizációja valósul meg, ezáltal a kép felbontása jobb hatásfokú lesz.

Amikor az ASCII formátumú x, y, z, HE adatfájl elkészült, a HE értékekhez hozzá kell adni 1024-et, hogy az adatsorban ne szerepeljenek negatív számok, mert a statisztikai feldolgozás bizonyos lépései nem értelmezhetőek a negatív számok halmazán. (Valójában a vízhez tartozó HE értékeket kell nullára korrigálni, ami -1000, a bináris kódolás miatt alkalmazzuk az 1024-gyel való korrekciót.) Ezáltal a nyers adatsorban a legkisebb érték a nulla lesz. A 4.1 fejezetben az alsó-pannóniai homokkövek HE értékeinek várható értékét

vetem össze a (3) számú képletben meghatározott CTN számmal. A helyes eredményt az imént vázolt korrekció nélküli adatok behelyettesítésével lehet csak megkapni, hiszen ezek lesznek a CT által mért valós adatok várható értékei.

Az üledékes kőzetek szöveti változásainak, üledékszerkezeti jegyeinek képi azonosíthatósága függ attól, hogy a hossz tengere merőlegesen vagy azzal párhuzamosan készültek-e a szeletek. A hossz tengellyel párhuzamos szeletek vizualizációja nem igényel függőleges numerikus interpolációt, ezáltal alkalmasak a geológiai idő, tehát a szöveti változások valós megjelenítésére. Hátrányuk azonban, hogy a CT méretéből adódóan a mérés csak bizonyos hosszúságig végezhető el, valamint nagyobb vastagság esetén, gyakori a mérés „zajossága”, amely értelmezhetetlenné teszi a mérési adatokat (1. ábra).

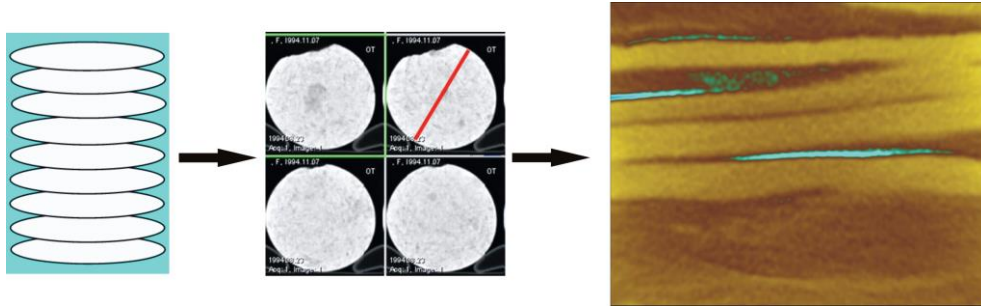
A „zaj” meghatározása ebben a munkában az olyan mérési értékekre vonatkozik, amelyek a makroszkópos leírás alapján nem azonosíthatóak, gyakran a valóságosnál kisebb értékek formájában jelennek meg, és a mért értékek térbeli folytonossága sem fejezi ki a makroszkópos szöveti változást. A hossz tengelyre merőleges, úgynevezett egyedi szeletek önmagukban nem alkalmasak a szöveti tulajdonságok elemzésére, kis vastagságuk miatt azonban kevésbé áll fenn a „zajos” mérés kockázata.



1. ábra A baloldali felvételen jól látszik az X alakú mintázat, amely nehezíti az optikai értelmezhetőséget, és a valós HE értékeket is eltorzítja. Az ilyen képről kinyert adatok a numerikus feldolgozást teljesen tévútra viszik. A jobb oldali ábra a „zaj” kiküszöbölésére kifejlesztett új módszerrel készült. A képen a zavaró mintázat egyáltalán nem látszik, és az adatok is a valóságosnak megfelelőek.

A megoldást az egyedi szeletek egymáshoz illesztése jelenti. A mátrix fájlokból először grideket kell létrehozni, amelyek vizualizációjával az egyes szerkezetek helyzetét lehet

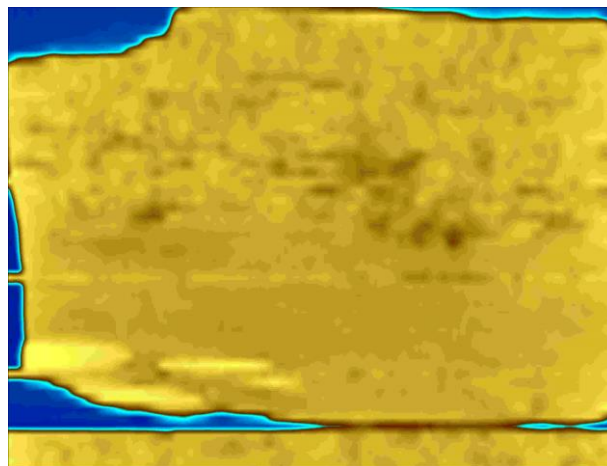
meghatározni, valamint lehetőség van a függőleges metszet helyének, és irányának kiválasztására (Geiger, 2005). A gridek elemzése és a metszővonal megrajzolása a Surfer 8.0 programban történik. Ezt követően a metszővonallal valamennyi egyedi szeletet elvágva, a metszeteket egyesítve előáll egy olyan kép, amely nem, vagy csak nagyon kevés értelmezhetetlen adatot tartalmaz. A módszer alkalmazásával kiküszöbölhető a valóságnak nem megfelelő adatok megjelenítése (2. ábra).



2. ábra Az egyedi szeletekből előállítható metszet elkészítésének elvi vázlata (AFENÉBE program-rendszer, Geiger, 2005). A szeletek megjelenítésével lehetőség van a metsző sík kijelölésére (piros vonal a középső ábrán), amely mentén az összeillesztés történik. Az interpoláció nélküli eljárás eredményeként, jó felbontású, a valóságnak megfelelő képet kapunk.

3.2 Az adatok kinyerése, előkészítése

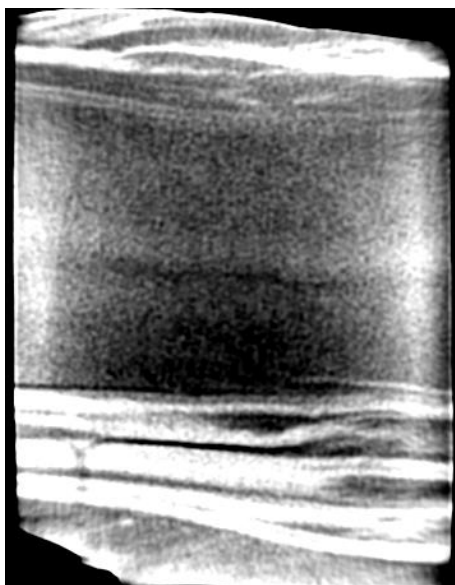
A megjelenített grid kontúrokon a sárgás barna színű területek tartalmazzák a kőzetmintából származó mérési értékeket, míg a kék, illetve fekete színűek a nem értelmezhető értékeket (3. ábra).



3. ábra A Surfer 8.0 lehetővé teszi különböző kitöltő színek alkalmazását. A sárgás barna árnyalatok a valódi mintát jelenítik meg. Ahol világosabb sárga a kép, ott nagyobb a sugárzásgyengítési érték. A kékes színek a mintához nem tartozó egyéb értékeket képviselik, ezeket az adatok kimentése előtt az 'Extract' eljárással el kell távolítani.

Ki kell tehát szűrni minden olyan értéket, amely a numerikus feldolgozást eltorzíthatja. Ilyenek lehetnek az értékelhetetlen adatok, valamint azok, amelyek nem az eredeti kőzetfizikai paramétereket tükrözik, hanem utólagosan emberi behatásra módosultak. A fúróiszap bizonyos mértékig képes behatolni a kőzetekbe, megváltoztatva ezzel azok térfogati sűrűségét, ezáltal a valóságosnál nagyobb mérési értékeket okozva (4. ábra).

A szűrés után előállott griden már csak az adott üledéktípushoz tartozó adatok találhatók. Ezek a mérési értékek, az adott üledéktípushoz tartozóan ASCII adat fájlként kimenthetők.



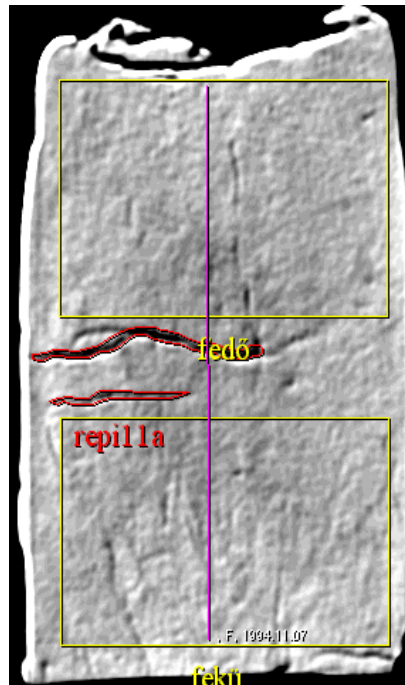
4.ábra A minta jobb és bal oldalán világosabb szürkével jelentkezik a szénhidrogén fúrások során kialakuló fúróiszap infiltráció. Ezeket az adatokat az üledékek numerikus vizsgálatának megkezdése előtt célszerű eltávolítani, hiszen a közpszemű homokkő HE értékeit jelentősen nagyobbak tűntethetik fel, mint a valóságos értékek.

3.3 Geostatisztikai, geomatematikai elemzések

A különböző üledéktípusok numerikus azonosíthatóságának vizsgálata az alábbiak szerint zajlott. A számítások elvégzéséhez az SPSS 11.0.0, valamint a Statgraphics Plus 5.1 programokat használtam. A kontúr térképet összehasonlítottam a magmintával, annak hiányában a mintáról készült fényképpel, vagy a minta makroszkópos leírásával. Egyezés esetén lehetőség van a minta egy-egy jellegzetes területének a kiválasztására, adat fájlként történő elmentésére, homogenitás és eloszlásvizsgálat céljából (5. ábra).

Feltételezhető, hogy a kontúr térképen azonosított üledéktípus, olyan mérési értékekből áll, amelyek sűrűség függvénye egymódusú, szimmetrikus és kiugró értékektől mentes

eloszlású. A feltételezés helytállóságát a mérési értékek gyakorisági hisztogramjának vizsgálata dönti el. Ha a hisztogram 10 intervallum alkalmazása esetén sem mutat mellékcsúcsot, a homogenitást első lépésben elfogadottnak tekinthetjük.



5. ábra Az OSIRIS nevű program lehetővé teszi különböző síkidomokkal lehatárolt területek kiválasztását. Ezt követően a kijelölt területek (Region of Interest – Roi) adatai x, y, z, HE alakban exportálhatóak.

Ezen feltételek teljesülése esetén, 0,05 szignifikancia szintű konfidencia intervallumot számolhatunk. Ezt követően a kiugró és extrém értékek vizsgálata következik. A 'Box-Plot' technika segítségével, az érték intervallum fokozatos csökkentésével a kiugró értékek az adathalmazról leválaszthatóak.

Feltételezhető továbbá, hogy a homogén, kiugró értékektől mentes mérési értékek normál eloszlásúak. A vizsgálatok során ezt a feltételezést csak néhány esetben lehetett elfogadni. Az eloszlások ugyanis döntően nem-normál eloszlásúak. Mivel az eloszlások nem-normál jellegűek, a várható értékek kiszámolására a 'Maximum-likelihood' módszer a legalkalmasabb. A becslés előnye, hogy eloszlás független, és a még jelentkező extrém értékekre nézve robusztus. Ugyanakkor hátránya, hogy nem adható meg körülötte konfidencia intervallum.

Minden egyes magminta esetében a HE értékeket durva, közepes, és finom szemcseméret kategóriákba soroltam. Ezt követően minden adatsort mindegyikkel összehasonlítottam, annak érdekében, hogy numerikus úton el lehet-e őket egymástól különíteni. Mivel az adatsorok nem normális eloszlásúak, így minden esetben a HE értékek mediánját, valamint

'Maximum-likelihood' becslését hasonlítottam össze. Ha a mediánok statisztikailag különböztek, de közöttük a különbség nagyjából a CT mérések zaj értékének – 10 HE – kétszerese körül volt, abban az esetben is azonosnak minősítettem. Az adatok kiválasztása során ugyanis előfordul, hogy nem azonos nagyságú grid területek vannak kijelölve, tehát nem azonos mennyiségű adat kerül egy-egy adatsorba, valamint sok egyéb tényező is befolyásolja azt, hogy miért éppen annyi egy adott grid cella értéke amennyi. Ezek a tényezők igen sokféleképpen módosítják a mérési eredményt. Ugyanakkor, a minta párok kiválasztását követően, megvizsgáltam az adott magmintákat szedimentológiai szempontból, mégpedig a felhalmozódás jellege, és a felhalmozódási környezet típusa szempontjából. Az elemzések eredménye, hogy eltérő felhalmozódási környezetből származó magminták HE értékeinek mediánja, egymástól statisztikailag szignifikánsan különböző.

Nem zárható ki, hogy a mérések számának növekedésével a normalitás megjelenik, ezért minden minta várható értékére ki lett számolva a konfidencia intervallum, valamint az eloszlás 5%-os csonkításával kapott átlag is.

A lineáris geostatisztika a regionalizált változók síkbeli, illetve térbeli folytonosságának elemzésére a félvariogramot használja. A félvariogramot a térben mért tulajdonságok térbeli korrelációjának leírására használjuk, amely nem más, mint az egymástól h távolságra lévő értékek hasonlóságának mértéke (Matheron, 1971). A Surfer 8.0 lehetőséget ad a grid kontúr formájában megjelenített adatok síkbeli folytonosságának térbeli elemzésére. A c-tengelyre merőleges önálló szeletek esetében erre az autokorreláció a legalkalmasabb, pontosabban fogalmazva a síkbeli korrelogram. A griden történő anizotrópia elemzése, természeténél fogva, tükrözi a kiterjesztési eljárás hatását. Esetünkben a módszer alkalmazható, hiszen a grid előállítása során interpolációt nem került alkalmazásra. Ebből következően a korrelogram az eredeti mérési eredmény síkbeli heterogenitását mutatja. A legalább gyenge stacionaritással bíró regionalizált változó félvariogramja és síkbeli autokorrelációja között függvénykapcsolat van. A tétel alkalmazásával, a félvariogram felszíne – egyszerű műveletek elvégzése után –, a korrelogramból megkapható (Geiger 2005). Így elfogadható, hogy a grid reprezentációra számolt autokorrelogram felület, az eredeti mért értékek térbeli folytonosságát mutatja. Tehát, a síkbeli autokorrelogram, a mért értékek teljes geostatisztikai rendszerét megadja.

A kőzetminták statikus áramlási pályáinak meghatározásához a Laplace-féle operátort alkalmaztam. Az operátor segítségével az összeáramlási és szétáramlási felszínek, övek különíthetők el. A számításokat, és a grid kontúrok megjelenítését a Surfer 8.0 programban végeztem el.

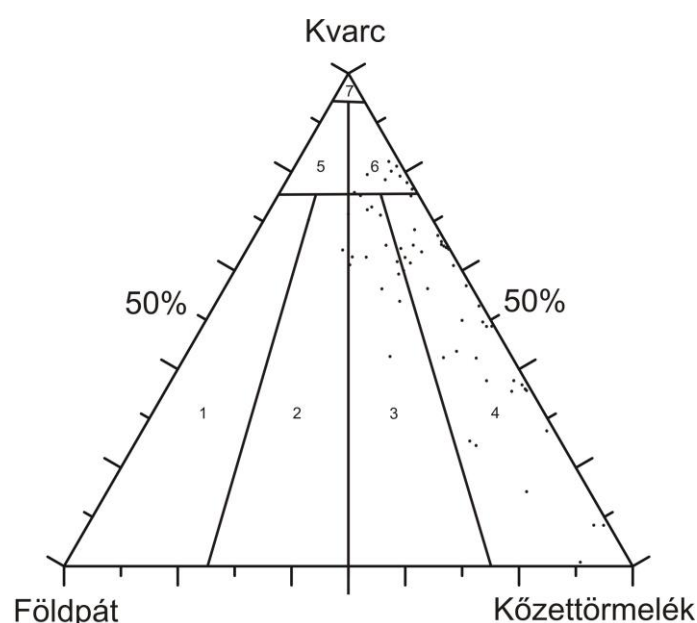
Az üledék-felhalmozódás ciklikus természetének CT-mérési adatokból való feltárásához, egy makroszkóposan homogén üledéksor adatait használtam fel. A mintavétel a magminta tengelyével párhuzamosan történt. A geológiai idő és az üledékvastagság összefüggést felhasználva, az adatokat egyenközü skálán elhelyezve, azokat idősorként kezeltem. Az ismétlődés kimutatására az autokorrelációs, és periodogram grafikonokat elemeztem, a periodikus ciklus kiválasztásának helyességét ARIMA modellel ellenőriztem.

4 Eredmények

4.1 A HE értékek függése az ásványos összetételtől, és a diagenizáltság fokától

A vizsgálatok során felhasznált alsó-pannóniai korú mintákon ásványtani elemzéseket nem végeztem, a korábbi vizsgálati eredményeket használtam fel (Bérczi, 1970; Bérczi, 1972; Bérczi és Viczián, 1973).

A pannóniai emeletben található üledékek törmelékanyaga metamorf kavicsokból, kvarckavicsokból áll, a kötőanyag feketésszürke aleurit, agyag, fehérésszürke karbonátos aleurit, homokkő (Bérczi és Viczián, 1973). A minták túlnyomó része kvarcos közethomok, közethomok, valamint földpátos közethomok. A szerzők a kvarc ásványokat túlnyomórészt metamorf kvarcváltozatoknak azonosították, biztosan magmás eredetű kvarcanyagot a konglomerátum-összletben nem találtak, ahogyan üledékes elegyrészeket sem (6. ábra).



6.ábra Az alsó-pannóniai konglomerátumszint ásványos összetétele. Jelmagyarázat: 1. arkóza, 2. „közethomokos” arkóza, 3. földpátos közethomok, 4. közethomok (litoarenit), 5. kvarcos arkóza, 6. kvarcos közethomok, 7. kvarcit. Átdolgozva Bérczi és Viczián (1973) nyomán.

Az A-248/1, A-248/2 és A-100 jelű fúrásokból származó „vékony rétegzett” turbidit kifejlődésű homokkő–aleurolit váltakozásából álló minták esetében a homokkőre számolt, HE-ben kifejezett medián értékek sorrendben: 2604, 2718, valamint 2663 HE, valamint az M-

becslők: 2604, 2718, 2666 HE. A (3) képlet alapján kiszámított CTN értékek: 2,58, 2,69 és 2,64. Ezek az értékek a kvarc 2,65 gr/cm³ sűrűségéhez igen közeliek, ami alátámasztja a korábbi ásványos összetételi vizsgálatokat.

Bérczi és Viczián (1973) a dél-alföldi terület neogén rétegsorát vizsgálta, Algyő, Dorozsma, Üllés, Öttömös térségében. Az általam vizsgált minták nagyobb része szintén erről a területről származik, rendelkezésekre állnak azonban ettől a területtől ÉK-re mélyített fúrásokból származó magminták mérési adatai is. A HE értékek részletes statisztikai vizsgálata – az algyői térségből származó minták durva frakcióhoz tartozó mediánjait, valamint M-becslő értékeit hasonlítottam össze a MOL Rt. kutatási területéről származó mintákkal – azt mutatja, hogy az ÉK-re lévő területről származó minták statisztikailag nem különböznek a Szeged környéki magmintáktól. Ebből következik, hogy ezek együtt vizsgálhatók az Algyő térségéből származókéval.

Az első minta homokkövének mediánja 2744, M-becslője 2743 HE, CTN értéke 2,71, a második minta mediánja 2379, M-becslője 2377 HE, CTN értéke 2,35, a harmadik minta mediánja 2617, m-becslője 2617 HE, CTN értéke 2,59, végül a negyedik minta mediánja 2361, M-becslője 2373 HE, CTN értéke 2,34.

A CT mérések során a kibocsátott röntgensugár elnyelődését, jelentős mértékben befolyásolja a minta tömörsége, diagenizáltsági foka. Azonos szemcseméretű, de különböző korú és diagenizáltsági fokon lévő minták esetében, az idősebb, nagyobb mértékben diagenizálódott, nagyobb sűrűséggel rendelkezik (Geiger et al., 2006). A diagenetikus folyamatok közül a kompakció és a cementáció azok, amelyek egyértelműen sűrűség növelő és porozitás csökkentő hatásúak.

A Felső-Tisza vidékén található, időszakos áramlásokkal előtöltött morotvából származó, koherens, ó-holocén korú minta finom aleuritos agyagra ($\Phi > 7$) számolt medián értéke: 2193 HE. Ezzel szemben az alsó-pannóniai korú agyagmárga (A-100) esetében a medián 2861 HE.

4.2 A HE értékek függése a szöveti tulajdonságoktól

Az áramló közegben létrejövő lerakódási alakzatok szöve és szerkezete tükrözi az áramló közeg energiáját, a meder alakját, a leülepedés sebességét, az üledék-utánpótlás mértékét. A külső és belső elsődleges üledékszerkezetek makroszkóposan jól meghatározható tulajdonságokkal bírnak. A CT felbontásából adódóan (0.3x0.3x2.0 mm), lehetőség van a kapott sűrűségadatokból a legkisebb üledékszerkezetek felépítésének megjelenítésére. A CT mérések szempontjából igen fontos tényező a szemcseméret. Ezen a tapasztalati tényen alapszik az a megállapítás, hogy a közel azonos korú és felhalmozódási történettel rendelkező kőzetek közül a kisebb szemcseméretű a nagyobb térfogati sűrűségű (Geiger et al., 2006).

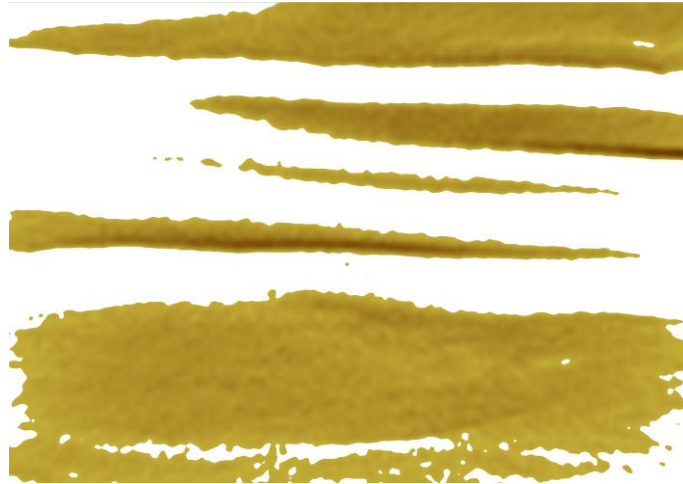
Az alsó-pannóniai korú A-100 jelű minta gyengén meszes, muszkovitpikkelyes finomszemű homokkő és szürke, kissé finomhomokos, meszes aleurolit váltakozó sorozatából áll (7. ábra).



7.ábra Az A-100 jelű fúrásból származó magminta. Leírást lásd a szövegben.

A magon három határozott és egy kevésbé jellegzetes eróziós felszín figyelhető meg. A homokkő és az aleurolit elválási felületein terhelési zsebek és zsákok, ezen kívül növényi szár-lenyomatok és egyéb bioglifák figyelhetők meg. Az áramlás szempontjából a minta két részre osztható. A magminta alsó részén kúszó hullámok láthatóak, amelyek a nagymennyiségű üledék-utánpótlás ismertetőjegyei. A réteglemezek bizonyos helyeken érintő helyzetűek, ami szintén a nagy mennyiségű szuszpendált üledék jelenlétére utal. Ezt követően az áramlás gyengülésének következtében kisebb szemcseméretű üledékek – kőzetliszt, agyag – halmozódtak fel. A minta felső részén a nagyobb energiájú áramlások ismétlődő nyomai láthatók. A hirtelen megjelenő, rövid ideig tartó, de igen heves áramlások bizonyítékai az eróziós felszínek. A homokkövek kiemelkednek, lencsés kifejlődésűek, ami arra utal, hogy az áramlás laterálisan is változott. Az üledékek sekély, kis lejtésű mederben halmozódhattak fel,

amelyben a nem túl nagy energiájú áramlások időszakosan fordultak elő. A finom szemű homokkőre számolt medián értéke 2663, M-becslője 2666 HE (8. ábra), az aleuolitra 2861, valamint 2863 HE (9. ábra).

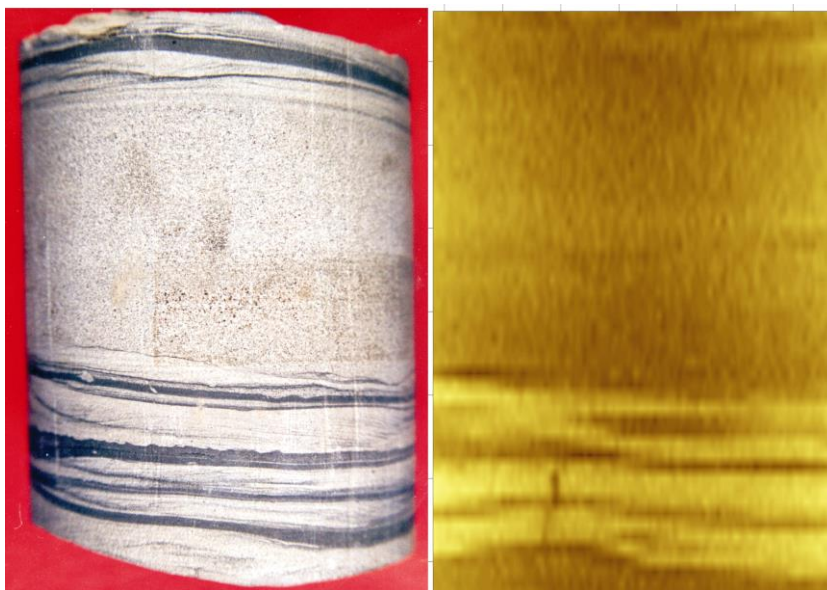


8. ábra Az A-100 minta HE értékeinek grid kontúrja, amelyen a durva szemcseméretű HE értékek vannak kiemelve. A homokkő rétegeket alulról határoló eróziós felszínek jól azonosíthatóak (sötétbarna szín).



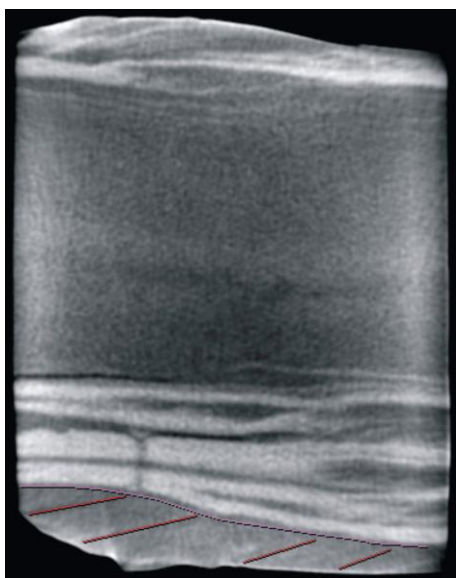
9. ábra Az A-100 minta finom szemcseméretű üledékéhez tartozó HE értékeket megjelenítő grid. Jól látható, hogy az előző ábrával kiegészítve, pontosan az eredeti szöveti felépítésnek megfelelő kép áll elő.

Az A-248/1 minta egy Bouma-jellegű vékony-rétegzett turbidit A, B, C tagjaiból áll (10. ábra).



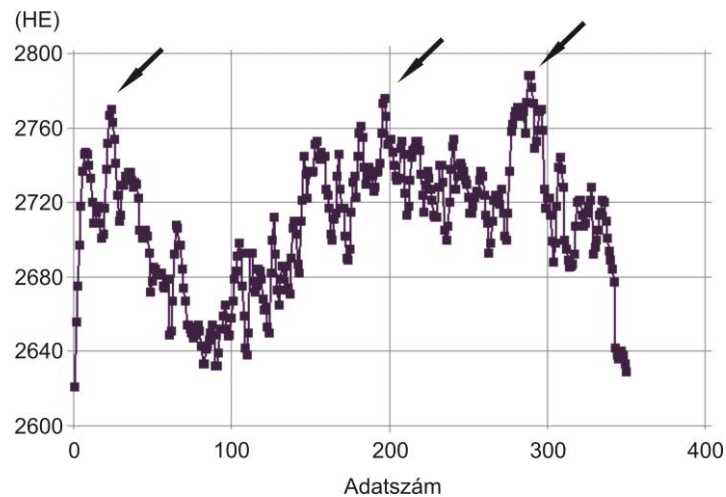
10.ábra Az A-248 számú fúrásból származó A-248/1 jelű minta. A szerkezet nélküli homokkő (Bouma A tag) eróziós felszínnel települ az alatta lévő finomabb üledékekre. A minta alsó részén jellegzetes kúszó hullámok láthatóak. A szerkezet nélküli homokkövet alulról eróziós felszín határolja.

A magminta alsó részén egy dűneforma azonosítható (11. ábra). A dűne gerincvonalára illesztett hullámvonal segítségével láthatóvá tehetők a HE értékek.



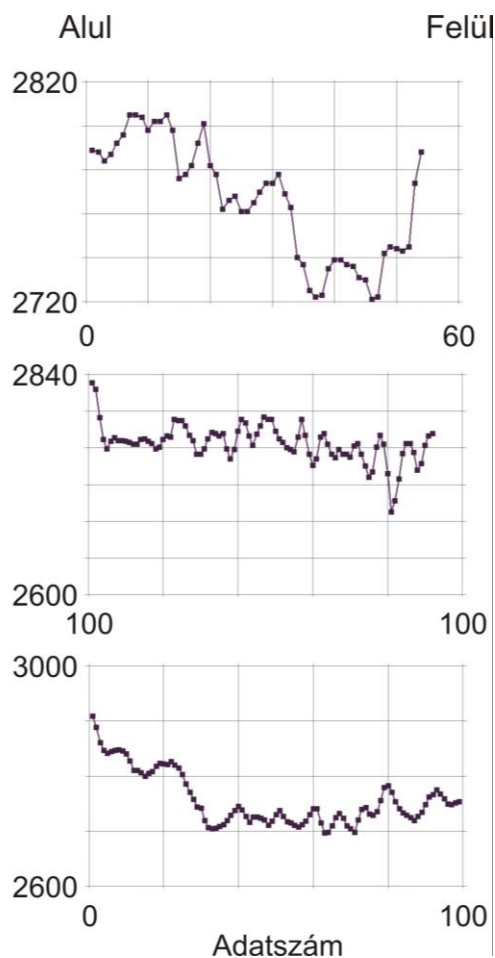
11.ábra Az A-248/1 jelű magminta alsó részén egy dűneforma látható. A gerincvonal HE értékeinek grafikonja segítségével, meghatározható a réteglemezek helyzete (következő ábra).

A grafikonon jól látható három olyan kiugró pont, amelyektől bal kéz felé az adatok meredeken csökkennek (12. ábra).



12.ábra A dűne gerincvonalán található HE értékek grafikonja. A dűnét felépítő réteglemezek tetőpontjait nyilak jelölik. Ezek a pontok az OSIRIS-szel megjelenített képen, pontosan bejelölhetők.

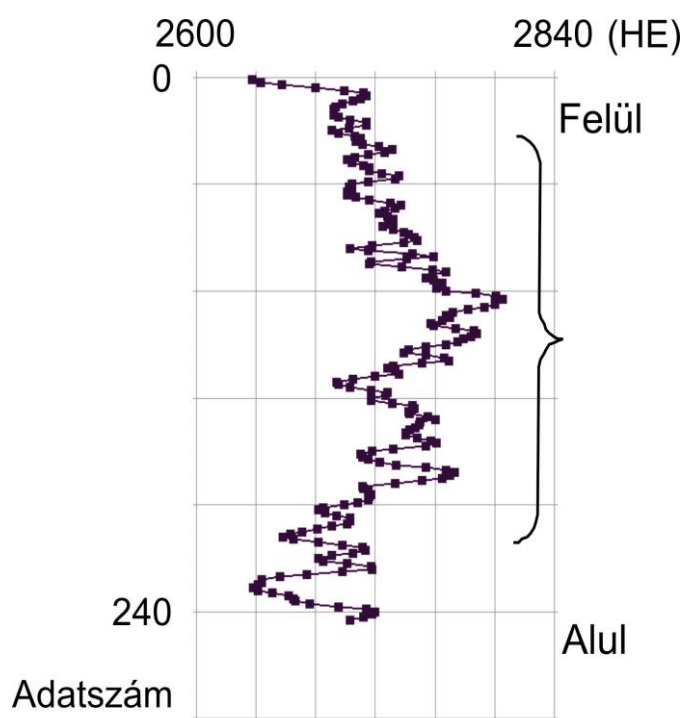
Ezek a pontok jelölik az egykori 'lee' oldalakat, a dűnét felépítő réteglemezeket. A réteglemezek HE értékeinek grafikonja jól mutatja belső felépítésüket (13. ábra).



13.ábra A dűnét felépítő réteglemezek HE értékeinek grafikonja. Az ábrákon jól látható, hogy a sűrűségváltozási trendek alulról felfelé csökkennek.

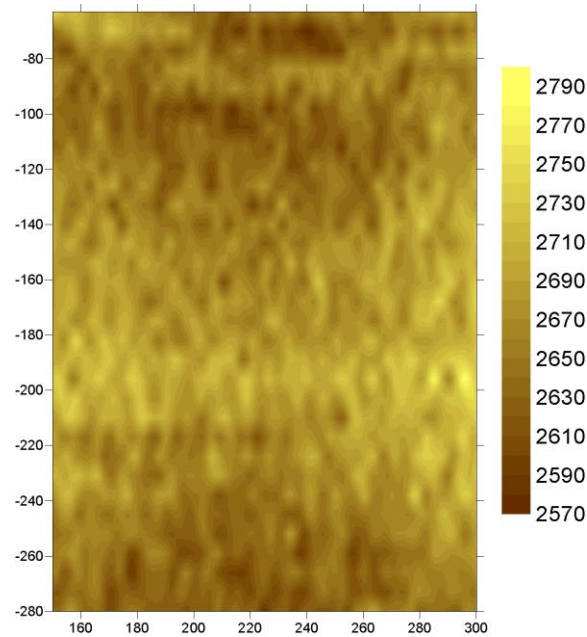
A dűneformákat felépítő réteglemezek szövetére a normál gradáció jellemző, ugyanakkor a grafikonokon ezzel ellentétes felfelé csökkenő HE értékek láthatóak. Ennek oka lehet a növekvő szemcseméret, vagy a szerves anyag feldúsulás, ami csökkenti a kőzet térfogati sűrűségét.

A dűneforma felett szerkezet nélküli (massive) homokkő (Bouma A tag) látható. A hossz tengellyel párhuzamosan felvett szakasz segítségével kinyert adatok grafikonja azt mutatja, hogy a szerkezet nélküli homokkő belső felépítése korántsem annyira homogén, mint, ahogyan makroszkóposan látszik (14. ábra).



14. ábra A szerkezet nélküli homokkő mikró léptékű felépítését reprezentáló HE értékek. A kapcsos zárójel, a központi, relatíve sűrűbb részt jelöli.

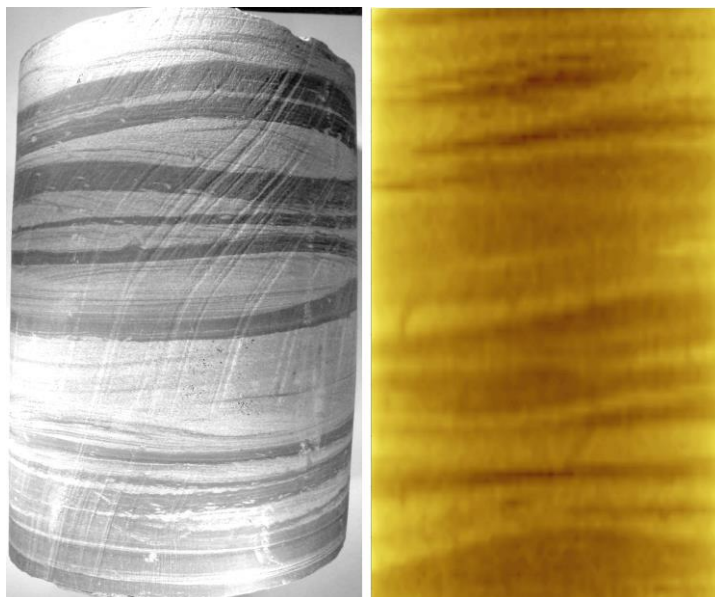
A réteg alsó és felső pereme kisebb sűrűségű, mint a központi része. Ez a tulajdonság az adatokból előállított grid kontúron is jól azonosítható (15. ábra). A szemcseméret változáson túl ennek oka, a csökkenő pórustér lehet. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a szemcseméret nem változik, tehát a pórustér vált nagyobbá. A relatíve magas várható érték, a magasabb fokú diagenizáltságnak, vagy a karbonát tartalomnak köszönhető. A szerkezet nélküli homokkő medián értéke 2604, M-becslője szintén 2604 HE.



15. ábra Az A-248/1 minta szerkezet nélküli homokkővének grid képe jól mutatja, hogy a belső rész nagyobb HE értékekkel jellemezhető, mint az alsó, illetve felső.

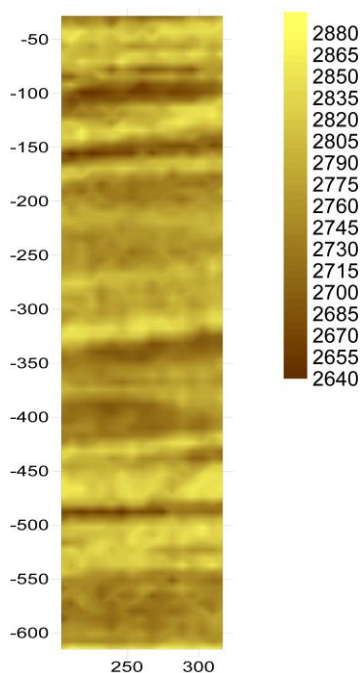
Az A-248/2 magmintában görbült, nem párhuzamos rétegzettség látható (16. ábra). Finomhomokos apróhomok és aleurolit váltakozik, amely az egykori áramlás erősségének ingadozását tükrözi. A homokkőekben a réteglemezek azonos irányúak, amely az áramlási irány állandóságát jelenti. A homokkőek alsó réteglapja többé-kevésbé vízszintes, a nagyobb energiájú áramlás erodáló tevékenységének következtében. A nagymennyiségű hordalék utánpótlásnak a kúszó hullámok és a felső réteglapok görbült helyzete, az áramlás laterális vándorlásának a lencsés és kiékelődő homokkőek a következményei.

Az ugyanebből a fúrásból származó magmintához hasonlóan, ebben a mintában is megfigyelhető a fúróiszap infiltráció (16. ábra). Ahhoz, hogy a numerikus feldolgozás ne vigyen tévútra, le kellett választanom ezeket az eredetnél nagyobb HE értékekkel jelentkező adatokat (17. ábra).

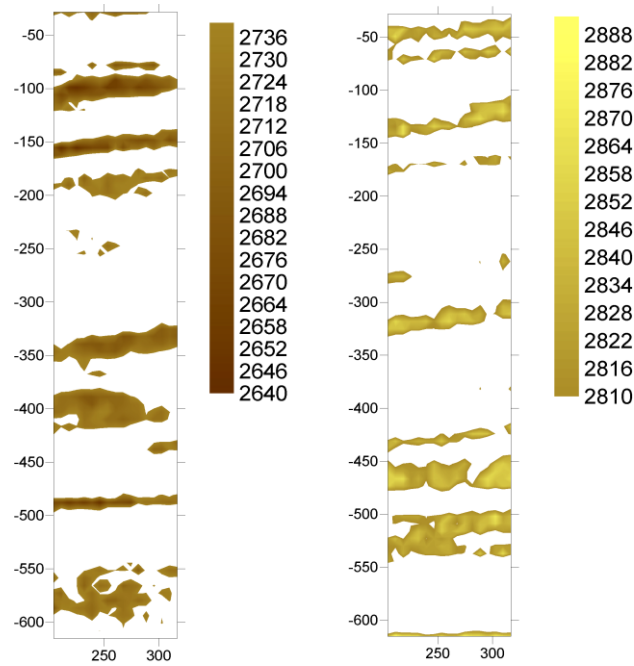


16. ábra A grid szélein jól látszik a fúróiszap infiltráció, amely jelentősen befolyásolja a HE értékek feldolgozását, ezért el kell őket távolítani.

A finomhomokos apró szemű homokkő 2718, az aleurolit 2829 HE medián értékkel, és 2717, illetve 2830 M-becslő értékkel jellemezhető (18. ábra).



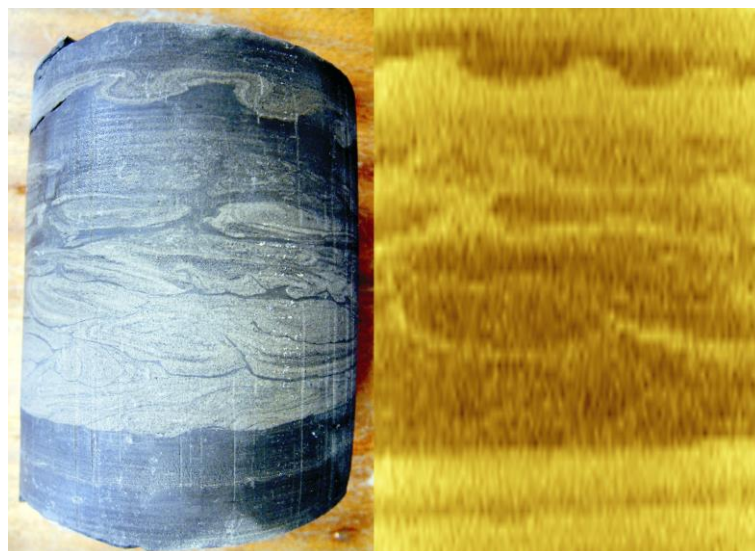
17. ábra Az infiltráció által módosított adatoktól „megtisztított” grid. Az eredeti szövet még felismerhető, ugyanakkor a gridből kinyert adatok megfelelnek a valós értékeknek.



18. ábra Az A-248/2 minta durva és finom szemcseméretű üledékeihez tartozó HE értékek grid kontúrjai. Az előző ábrával összevetve, a szöveti, szerkezeti jellegzetességek egyértelműen felismerhetők.

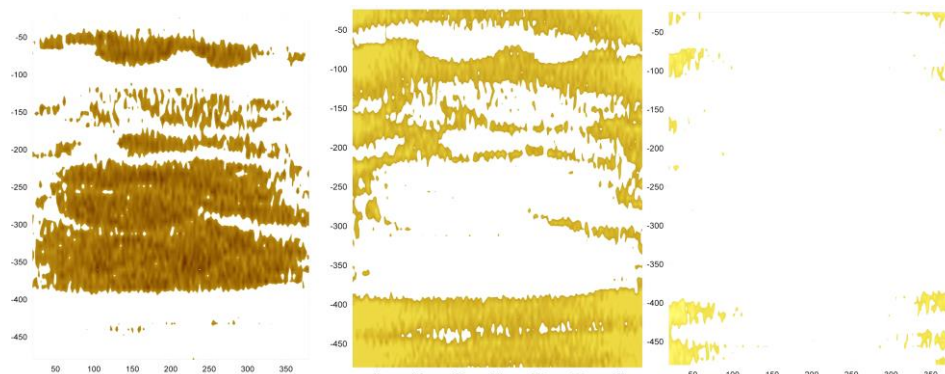
A MOL Rt.-ben jelenleg is folyó kutatás egy nagyobb mélyvízi hordalékkúpot tárt fel. A következő néhány minta ezekből a fúrásokból származik. A minták elsősorban hordalékkúp lobokon, valamint azok között kifejlődő elosztó medrekben képződött.

Az első mintában finomhomokos apróhomok és aleurolit váltakozik (19. ábra).



19. ábra A minta középső részén konvolút rétegzés látható. A mag tetején terheléses szerkezet figyelhető meg. Az interpoláció nélküli grid kontúron az üledékes szerkezetek egyértelműen azonosíthatóak (lásd 20. ábra).

Az alján látható körülbelül 3 cm vastagságú aleurolitot egy néhány milliméteres homokkő közbetelepülés választja ketté. Felette konvolúció és ismételt aleurolit látható, amelynek felső réteglapján terheléses szerkezetek alakultak ki. A mintát aleurolit zárja. A homokkő medián értéke 2617, M-becslője 2617 HE, a kőzetliszt mediánja és M-becslője egyaránt 2840, az agyagmárgaé 3041, és 3044 HE (20. ábra).

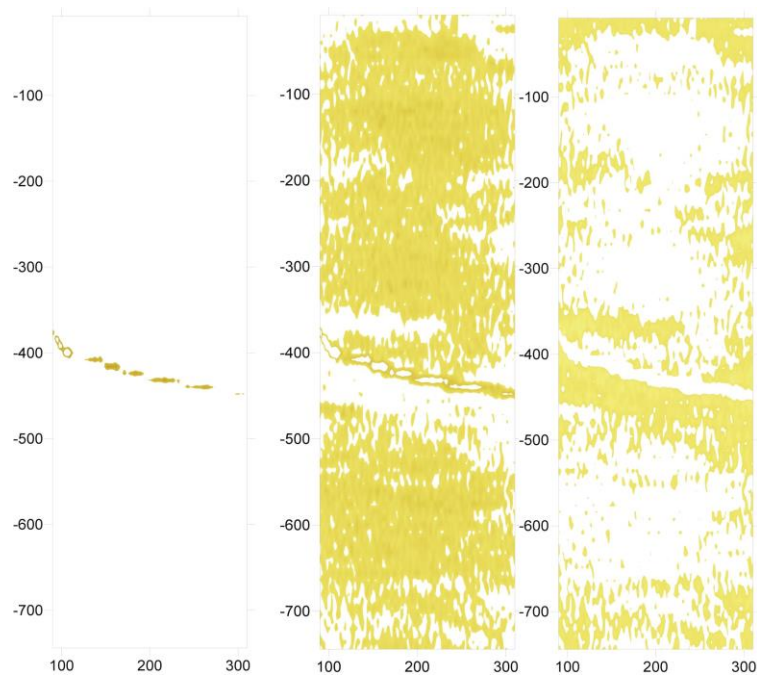


20. ábra A durva, közepes, valamint finom szemcseméretű üledékeket reprezentáló HE értékek grid kontúrjai.

A következő minta nagyrészt finomszemű üledéket tartalmaz, amelyet üledékes vetők szabdaltak fel (21. ábra). A durva üledékhez tartozó medián érték 2361, az M-becslő 2373 HE, a közepes szemcseméretű üledékhez tartozó medián 2744, az M-becslő 2743 HE, míg a finom szemcseméretű üledékhez tartozó 2838, illetve 2840 HE (22. ábra).



21. ábra A döntően kőzetlisztből, agyagból, valamint ezek elegyéből álló kissé konszolidált üledékeket, atektonikus, üledékes vetők darabolták fel. A homoküledékek megjelenése nagyobb energiájú áramlásról tanúskodik.



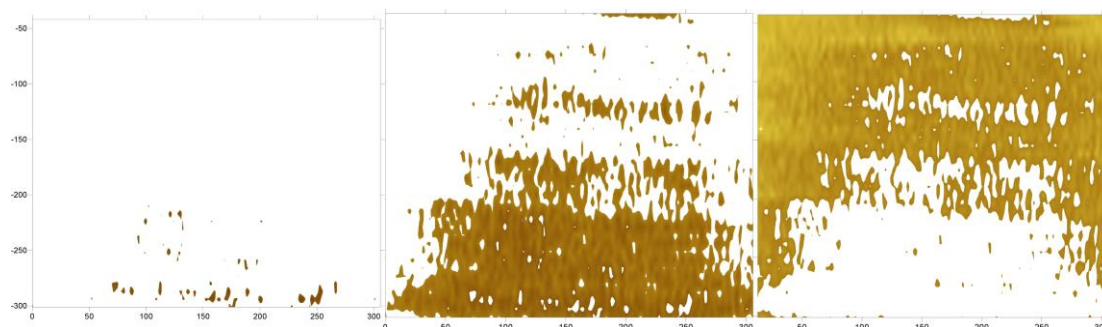
22. ábra A durva, közepes, valamint finom szemcseméretű üledékeket reprezentáló HE értékek grid kontúrjai.

A harmadik mintán sík párhuzamos rétegzésű homokkő, és kimosás-feltöltés (scour and fill) szerkezet látható (23. ábra). A finomszemű homokban helyenként szerves anyag halmozódott fel, amely alapján a felhalmozódás hordalékelosztó mederben történhetett.



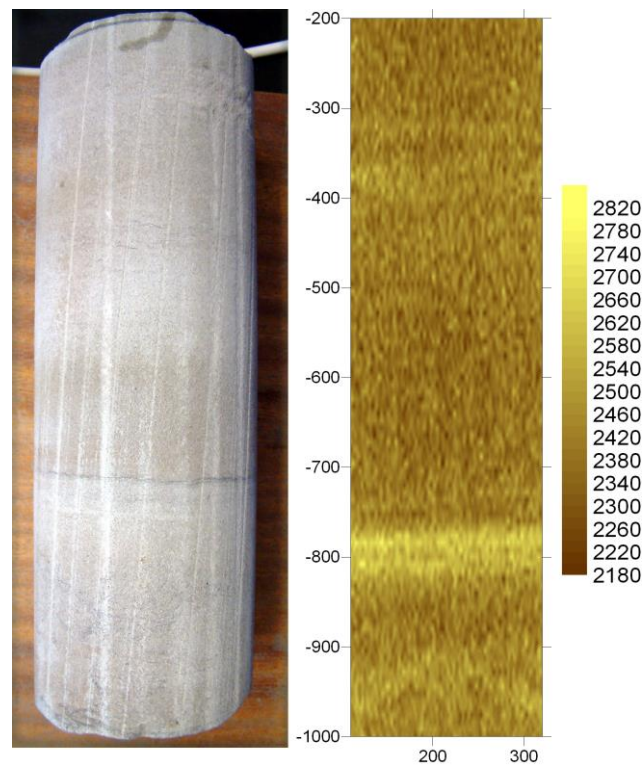
23. ábra A finomszemű homokban feldúsuló szerves anyag segítségével könnyen azonosítható a sík párhuzamos rétegződés, valamint a kimosás-feltöltés szerkezet. A minta alsó részén nagy mennyiségű szerves anyag halmozódott fel, amely felfelé csökken. A rétegződés azonosítását kissé nehezíti a fúró forgó mozgása által keletkezett párhuzamos karcok a minta felületén.

A durva frakcióhoz tartozó HE értékek mediánja 2905, M-becslője 2903. A relatíve magas érték összefügghet a nagyobb mélység hatására bekövetkező nagyobb fokú kompaktáltság kialakulásával. A közepes szemcseméret medián értéke 3072, M-becslője 3076, míg a legfinomabb frakció 3234 mediánnal, és 3236 M-becslővel jellemezhető (24. ábra).



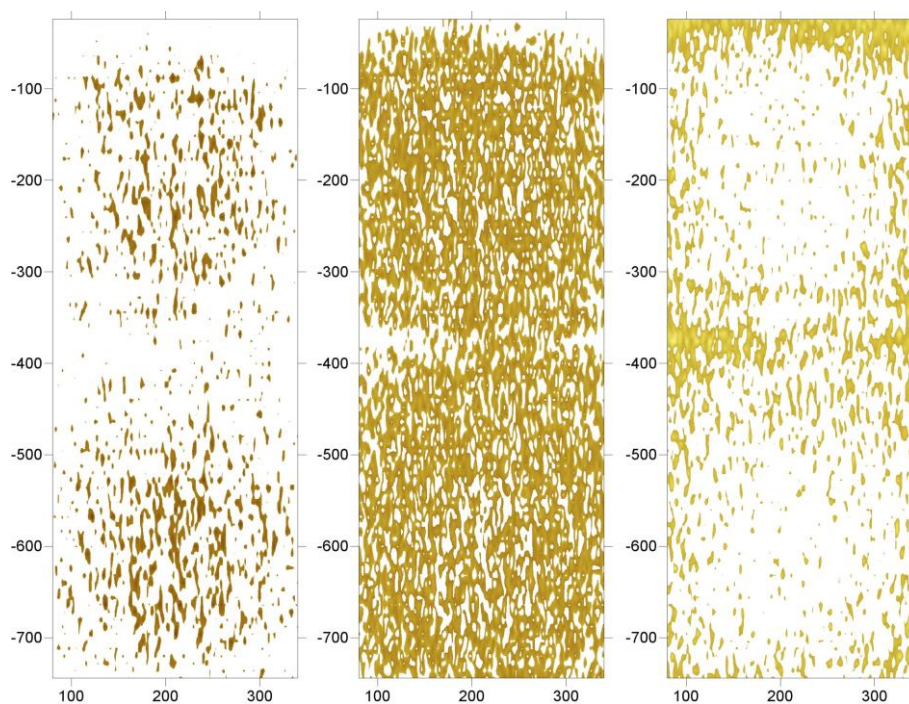
24. ábra A minta alján kisebb HE értékek jelennek meg, amely lehet a nagymennyiségű szerves anyag felhalmozódás következménye is.

A negyedik minta szerkezet nélküli homokkő, amelyben összeolvadási felszín azonosítható (25. ábra). Az összeolvadási felszínnek olyan síkbeli szöveti (fabric) tulajdonságok, amelyeken keresztül két különböző turbidit test egyesül, ezáltal egyetlen homokkő, illetve kavicsos homokkő réteget alkot. Ahol összeolvadás jelenik meg, nem található pelites szakasz. A pelites szakaszok az erózió előtt lehetnek jelen. Az összeolvadási felszín két turbidit közötti eróziós kapcsolatot reprezentál, amely bizonyíték a bevágódásra (Walker, 1966, Pettijohn, 1975, Mattern, 2002). A legtöbb esetben a felszín felett durva homok–apró kavics szemcseméret figyelhető meg, míg alatta finomabb homok. A mintában a felszín feletti rész mediánja 2432, míg az alatta lévőé 2480 HE. Ezt a különbséget okozhatja szemcseméretbeli különbség, illetve a kisebb kompaktáltság. A legnagyobb HE értékek az összeolvadási felszín mentén jelennek meg, amelynek oka a csökkenő sebességű áramlásból kiüledő finomabb szemcseméretű üledék megjelenése. A magfotón jól látszik egy vékony sötét sáv, amely a felhalmozódott szerves anyag. E felett a HE értékek hirtelen lecsökkenése arra utal, hogy nagyobb sebességű erodáló áramlás jelent meg.



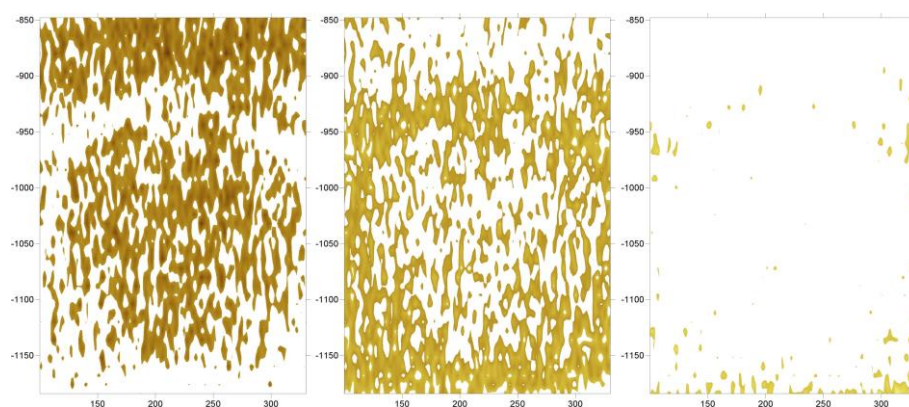
25. ábra Szerkezet nélküli homokkő és összeolvadási felszín. A felszín feletti terület sötétebb tónusú, ami arra utal, hogy kisebb HE értékekből áll. Ennek oka a nagyobb szemcseméret, vagy kevésbé kompaktált üledék lehet.

Az összeolvadási felszín feletti közetrész HE értékei szemcseméret szerinti megosztásban a következő. Durva szemcseméret: medián 2326, M-becslő 2325 HE, közepes szemcseméret: medián 2404, M-becslő 2404 HE, finom szemcseméret: medián 2497, M-becslő 2499 HE (26. ábra).



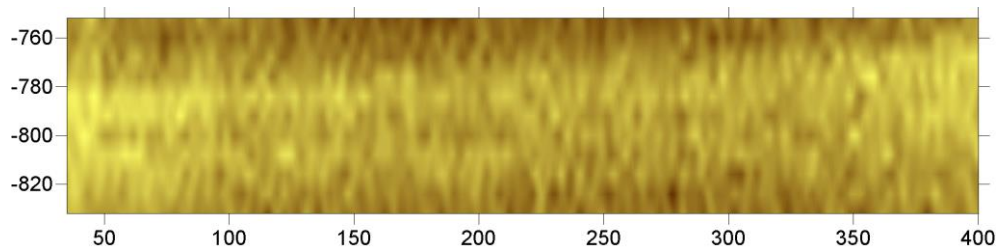
26. ábra Az összeolvadási felszín feletti közetrész HE értékeinek grid kontúrjai szemcseméret szerinti megosztásban.

Az összeolvadási felszín alatti közetrész adatai a következők: durva szemcseméret medián 2374 HE, M-becslő 2373 HE; közepes szemcseméret medián 2453 HE, M-becslő 2453 HE; finom szemcseméret medián 2551 HE, M-becslő 2553 HE (27. ábra). Nagyobb különbség a kisebb szemcseméretetekhez tartozó HE értékek esetében fordul elő.



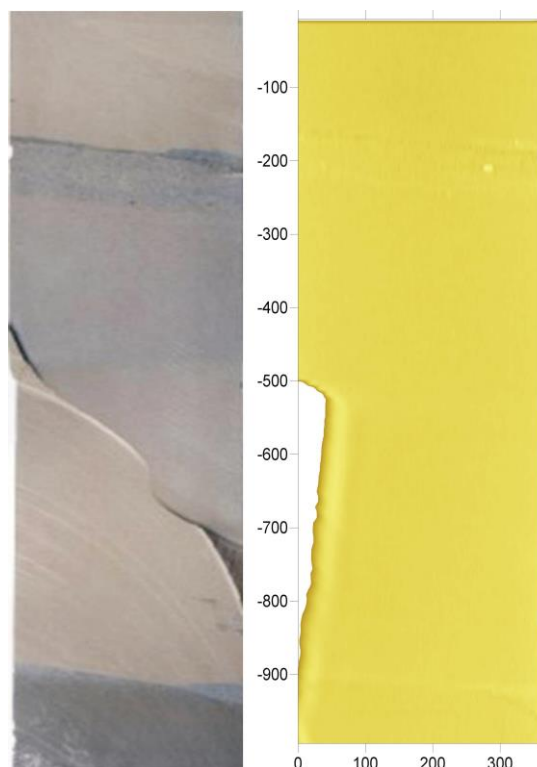
27. ábra Az összeolvadási felszín alatti közetrész HE értékeinek grid kontúrjai szemcseméret szerinti megosztásban.

A csak az összeolvadási felszínt megjelenítő griden jól látható az áramlás hatására kialakult vízszintes irányítottság (28. ábra).



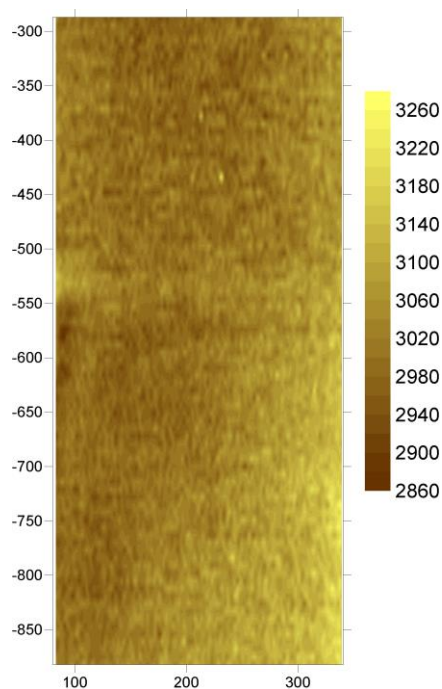
28. ábra Az összeolvadási felszínt ábrázoló griden, az áramlás hatására vízszintes irányítottság alakult ki.

A következő minta (Mátételke-1/1518), hasonló az előzőhöz, szintén szerkezet nélküli homokkő és benne összeolvadási felszín látható (29. ábra).



29. ábra A griden jól látható a homogén szerkezet, valamint a két összeolvadási felszín a minta alján, illetve tetején.

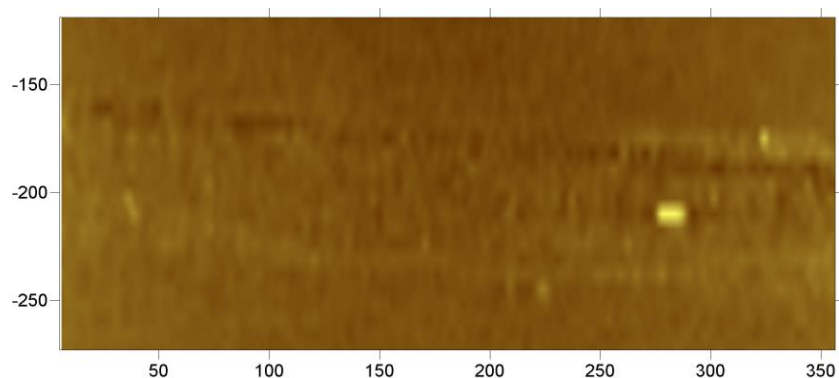
A mintában két összeolvadási felszín azonosítható, amelyekből a felső sokkal határozottabb, így ennek a feldolgozását kívánom bemutatni. Az összeolvadási felszínnek közötti szerkezet nélküli homokkő HE értékeinek mediánja 3016, M-becslője 3018 (30. ábra).



30. ábra A szerkezet nélküli homokkő grid kontúrja. Látható, hogy alapvetően homogén, és relatíve magas HE értékekkel jellemezhető.

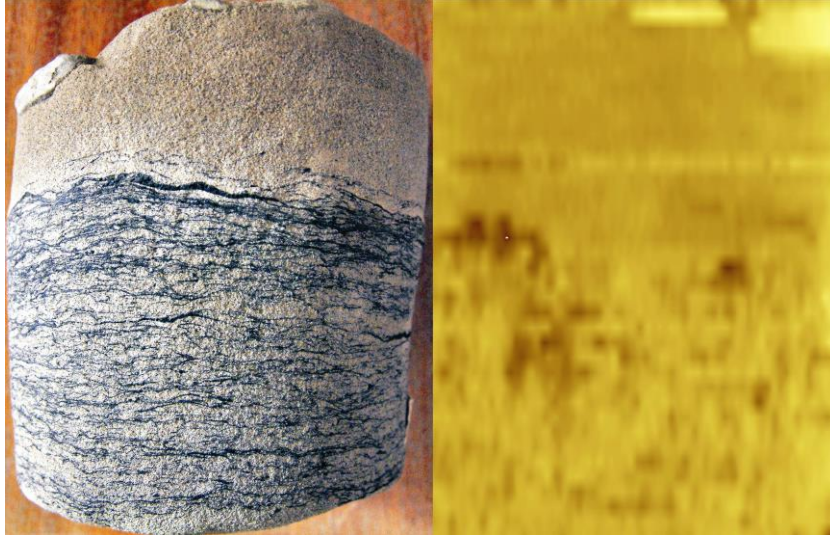
Összehasonlítva az A-248/1 fúrásból származó szerkezet nélküli homokkővel, valamint az előző mintával, látható, hogy jóval magasabbak az értékek, amely a nagyobb mélységből következő nagyobb fokú kompaktáltsággal, tehát nagyobb térfogati sűrűséggel van összefüggésben. Szemcseméretbeli jelentős eltérést a makroszkópos vizsgálat nem állapított meg.

Az összeolvadási felszínt kiemelve, a griden vízszintes irányítottság látható, ami egyértelműen az áramlás hatására alakult ki, az előző mintához hasonlóan (31. ábra).



31. ábra Az összeolvadási felszínt ábrázoló griden jól látható az áramlás hatására kialakult vízszintes irányítottság.

A-216. számú fúrásból származó minta apró- és középszemű homokkőből áll, amelyben a minta alsó részén elszenesedett növényi maradványok, lignit zsinórok felső részén aleurolit intraklasztok találhatók (32. ábra).



32.ábra Az A-216 jelű magminta alsó részén elszenesedett növényi maradványok, lignit zsinórok láthatóak. Az áramlási energia hirtelen megnövekedését mutatja a szerves anyag hirtelen megszűnése. A bal felső sarokban aleurolit intraklaszt látható.

A felhalmozódott növényi maradványok arra utalnak, hogy azok a származási helytől nem szállítottak nagy távolságra, és gyorsan ülepedtek ki. Ezt követően az áramlás erőssége nőtt, az elszenesedett növényi maradványok hirtelen eltűnnek.

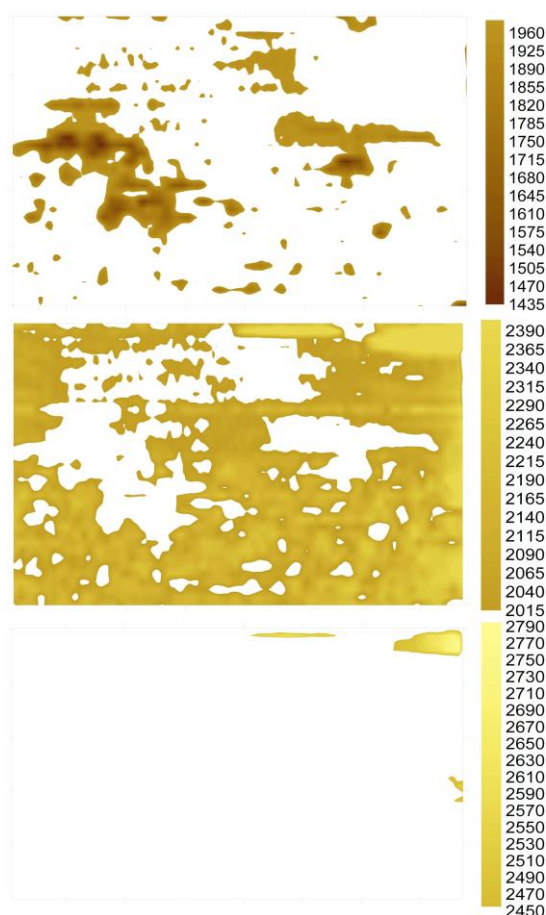
A gyengülő áramlásból kiülepedett szuszpendált, kissé konszolidált finom üledékeket a következő hirtelen betörő, nagyobb energiájú áramlás felszakította. Az aleurolit intraklasztok rövid szállítás után, a hirtelen lecsökkenő energiájú közegből a homok üledékkel együtt igen gyorsan kiülepedtek.

A növényi maradványok, valamint üledékszerkezetek jelenléte arra utal, hogy a felhalmozódási környezet a delta front egy kisebb torkolati zátonya lehetett.

A grid kontúr térképeken egyértelműen elkülöníthető a szerves anyag feldúsulás, a homokkő és az aleurolit (32. ábra).

A szerves anyag feldúsulások jóval kisebb Hounsfield Egység értékekkel jellemezhetőek, hiszen sűrűségük a befogadó kőzeténél jelentősen kisebb. A mintában 1956 HE medián és 1953 M-becslő érték jelöli az elszenesedett növényi maradványokat tartalmazó homokkövet, ugyanakkor a közép- és apró szemű homokkő medián értéke 2097, az M-becslő 2101 HE. A

finom szemű homokkő 2300 medián, és 2301 M-becslő HE; az aleurolit intraklasztok 2574 HE medián, és ugyanannyi M-becslő értékkel jellemezhetőek (33. ábra).

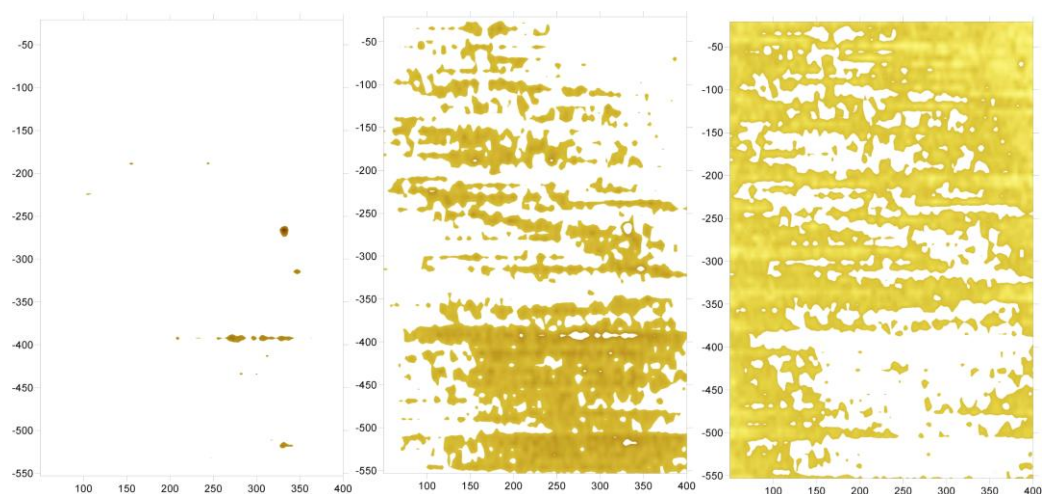


33. ábra A szerves anyag (felső kép – sötét barna szín), valamint az aleurolit intraklasztok (alsó kép) jól azonosíthatóak a grideken.

A Szeged-1 jelű fúrásból származó magmintában sík párhuzamos vékonylemezes, laza, meszes, jól osztályozott, aleuritos finom- és apró szemű homokkő látható. A lemezességet a szenesedett növénymaradványok feldúsulása okozza. A középső részen kimosás-feltöltés (scour and fill) szerkezet azonosítható (34. ábra). A különböző szemcseméretet elkülönítése után kapott eredmények a durva szemcseméret esetében a medián 2193, az M-becslő 2193 HE, a közepes szemcseméretet 2237 HE medián és 2236 HE M-becslő érték jelöli, míg a legkisebb szemcseméretet 2273, illetve 2274 HE (35. ábra).

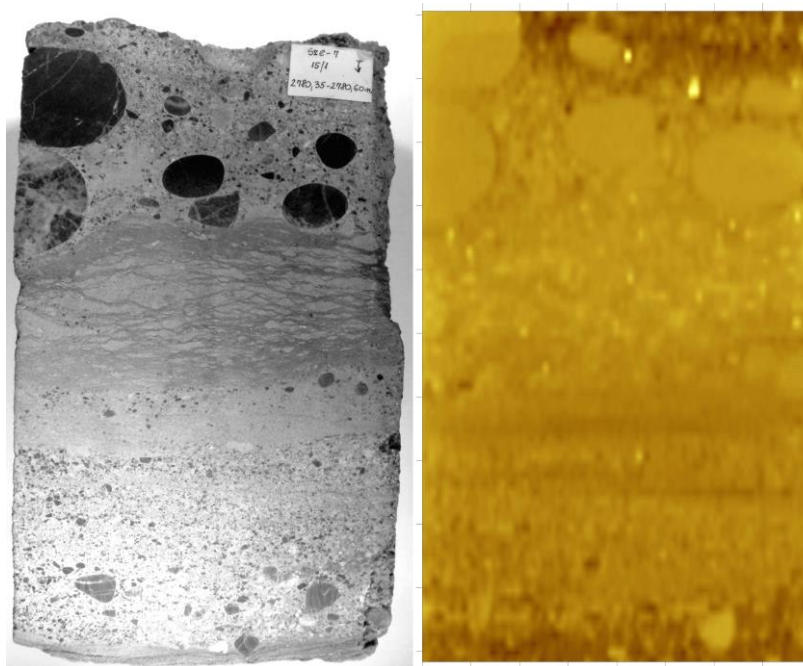


34. ábra A grid kontúron egyértelműen azonosítható a sík párhuzamos rétegződés, valamint a középén átlósan húzódó eróziós felszín, amely a kimosás helyét jelöli.



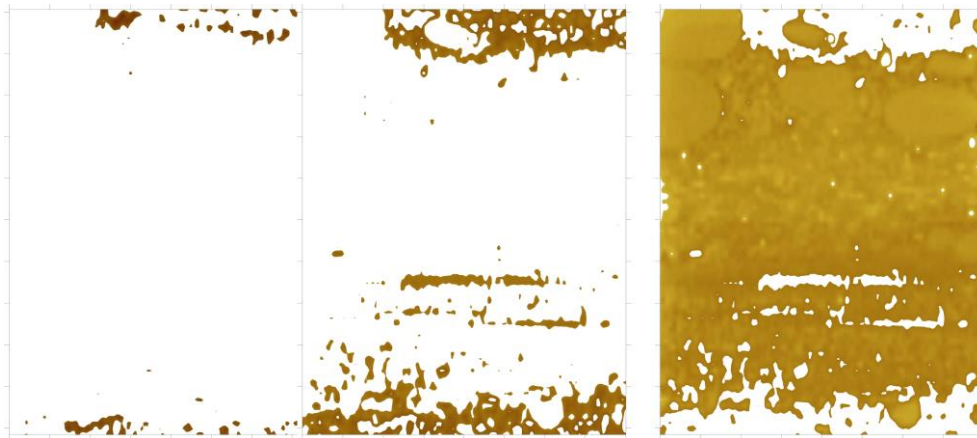
35. ábra A különböző szemcseméretetek egymástól jól elkülönülnek. A bal oldali ábrán látható, hogy ebben a mintában meglehetősen kevés a legdurvább szemcseméret részaránya.

A Szeged-7 jelű fúrásból származó, 15/1 magrész ritmusos felépítésű (36. ábra).

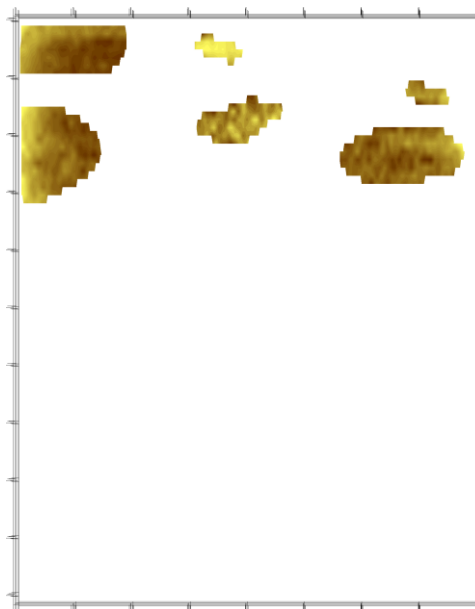


36. ábra A ritmusos felépítésű üledéket eltérő nagyságú szemcsék alkotják. A nagyobb szemcsék anyaga döntően középső-triász dolomit, valamint kvarc, illetve kvarcit.

Alul aleuritos finom homokkő, majd kavicsos durva homokkő következik, amelyben a durvább szemcsék nagyrészt középső-triász dolomit. Ezt követően közép és apró szemű homokkő, meszes, durvább homokkő, valamint szürke, erősen aleuritos finom homokkő települ. A felső 5-6 cm éles határral elkülönülő meszes, kavicsos, durva kavicsos, durva homokkő alkotja. A HE értékek szerinti elkülönítés azt mutatja, hogy a minta alapvetően egy intervallumba eső értékekből áll (37. ábra). A középső-triász dolomit, kvarc és kvarcit kavicsok, szemcsék térfogati sűrűsége közel azonos a jóval kisebb szemcseméretű üledékekével. A legkisebb frakcióhoz tartozó medián érték a 2757, az M-becslő 2756 HE, a közepes szemcseméret mediánja 2918, M-becslője 2916 HE, majd legvégül a finom szemcseméretet a 3143 HE medián, és a 3142 HE M-becslő jellemzi. A dolomit sűrűsége 2,85, a legutolsó (a 37. ábra jobb szélén látható) gridre számolt medián 3143 HE, az ebből számított CTN 3,11. A minta felső részén látható hat nagyobb kavics HE értékeinek mediánja 3216, M-becslője szintén 3216. Erre az értékre számított CTN 3,19, valamivel magasabb az előzőnél (38. ábra).

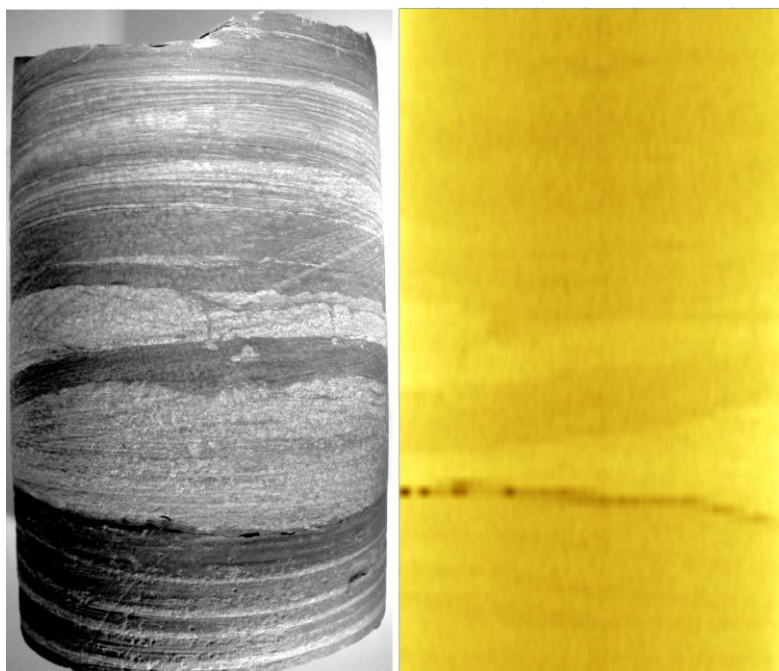


37. ábra A HE értékek szerinti elkülönítés azt mutatja, hogy a magminta alapvetően azonos HE értékekkel jellemezhető üledékből, illetve kőzetből épül fel. A jobb szélső grid mediánja 3143, az ebből számított CTN 3,11, a dolomit sűrűsége 2,85. A nagyobb CTN oka a kisebb szemcseméretű üledékek jelenléte, valamint a kor lehet.



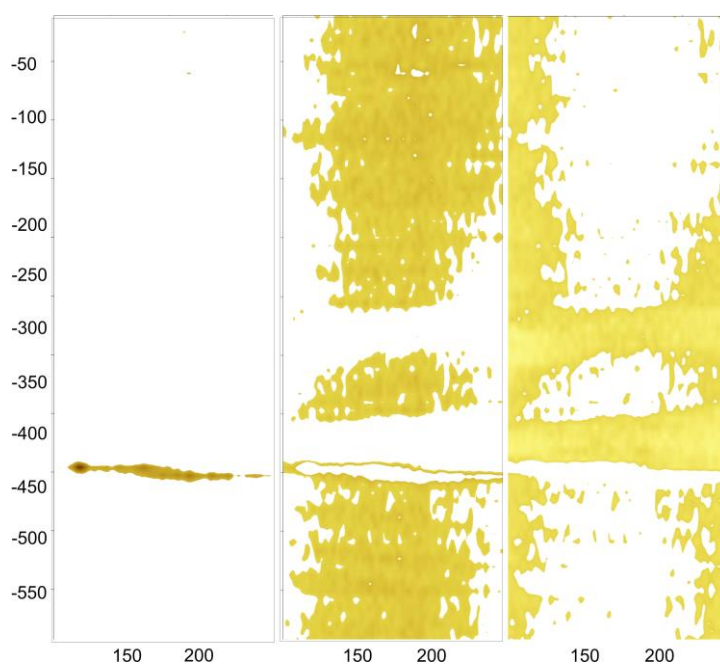
38. ábra A minta felső részén hat nagyobb kavics található, amelyek HE értékének mediánja 3216, CTN értéke 3,19, tehát valamivel magasabb, mint a dolomit sűrűsége. A magasabb érték magyarázható a korral, valamint szennyeződések, és más ásványok jelenlétével is.

A Forráskút-1 jelű fúrás 23/1 magrésze aleurolit és finom–apró szemű homokkő váltakozásából áll (39. ábra). A minta alsó részén sík párhuzamos rétegződés látható, amelyet egy eróziós felszín szakít meg. A felszín felett két nagyobb amplitúdójú, kiékelődő homokhullám jelenik meg. A kiékelődő jelleg az áramlás laterális elvonszolódásának eredménye. Ezt követően a rétegződés ismételt sík párhuzamos.



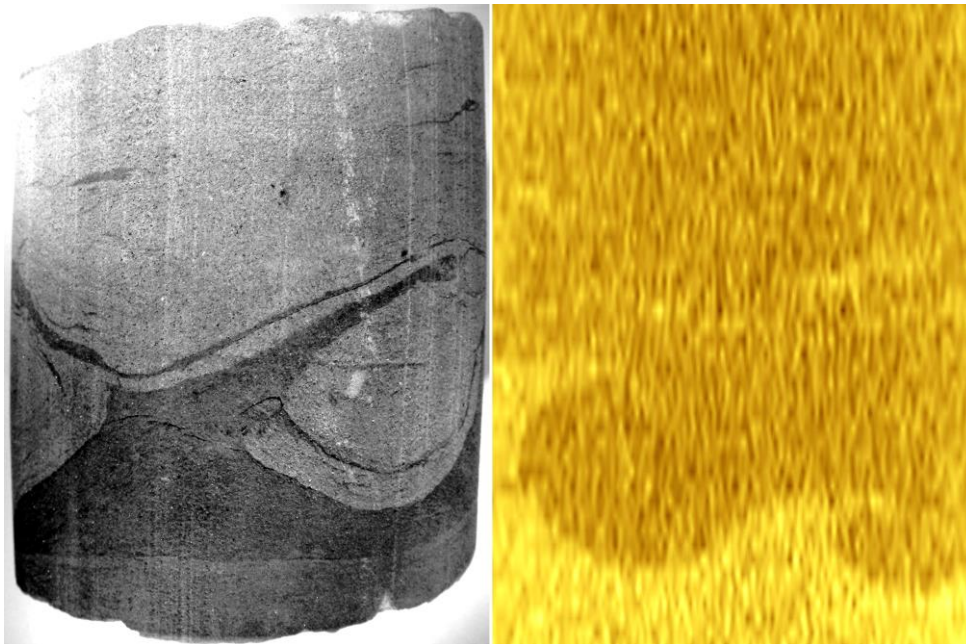
39. ábra Aleurolit és homokkő váltakozása, sík párhuzamos rétegzöldéssel, valamint kiemelődő homokhullámokkal. Az eróziós felszín a grid kontúron is jól azonosítható.

A HE értékek a nagy mélység következtében ebben a mintában is relatíve magasak. A legdurvább szemcseméretrehoz tartozó medián 2691, az M-becslő szintén 2691 HE, a közepes szemcseméretnél is mindkét érték egyaránt 2821 HE, és végül a legkisebb szemcseméret esetében a medián 2933, az M-becslő 2939 HE (40. ábra).



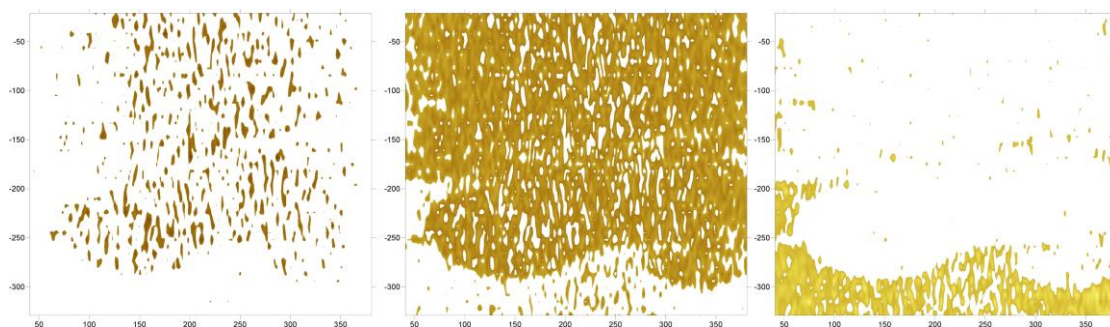
40. ábra A legkisebb HE értékek természetesen az eróziós felszín közelében találhatóak.

A következő minta a tanszéki gyűjteményben található, egy könnyen azonosítható terheléses szerkezet, a lányszerkezet (41. ábra). A lányszerkezetek eltérő üledéktípusok határfelületei mentén alakulnak ki. A nehezebb homoküledék található felül, míg alatta kőzetliszt, illetve agyag, amely a terhelés hatására a homokba nyomódik. Lányszerkezetek alakulnak ki a nagyobb sebességű áramlásokban kialakuló örvényáramok hatására is, amelyek felkapják a finom szemcseméretű üledéket. A lányszerkezetek csúcsa az áramlás irányába mutat.



41. ábra A lányszerkezet az egyértelműen azonosítható terheléses szerkezetek közé tartozik. A nagyobb sebességű áramlás által leülepitett homok üledék található felül, alatta kőzetliszt, agyag. Az áramlás irányát a lányszerkezetek kis csúcsa mutatja, tehát jelen esetben balról jobbra haladt az áramlás. Mivel a magminta egy henger, az áramlás pontos irányának meghatározása ebből az egyetlen mintából nem lehetséges.

A HE értékek grid kontúrjain nagyon jól el lehet különíteni az eltérő szemmagyságú üledékeket, azáltal a lányszerkezet profilja még jobban megjeleníthető (42. ábra).

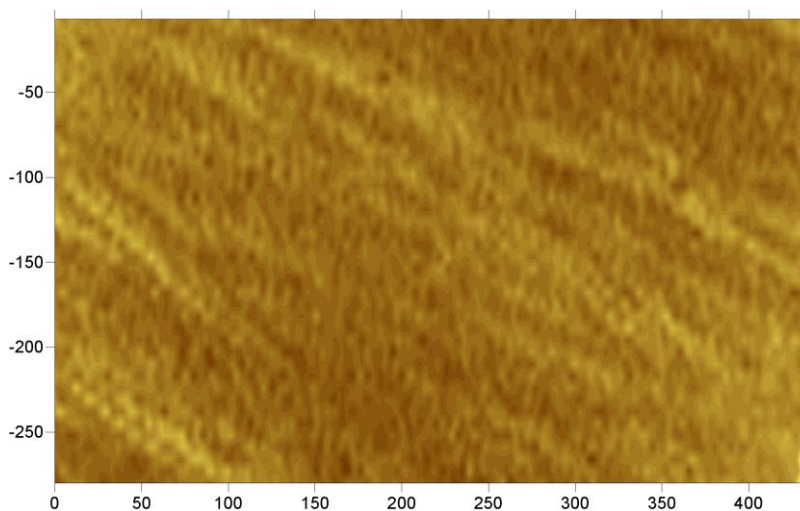


42. ábra A szemcseméreték szerinti elkülönítés, még szemléletesebbé teszi a lányszerkezet felépítését.

A legnagyobb szemcsemérethez tartozó HE értékek mediánja 2564, M-becslője 2662. A közepes szemcseméretet 2703, illetve 2702 HE, míg a legkisebbet 2889, és 2894 HE jelöli (42. ábra).

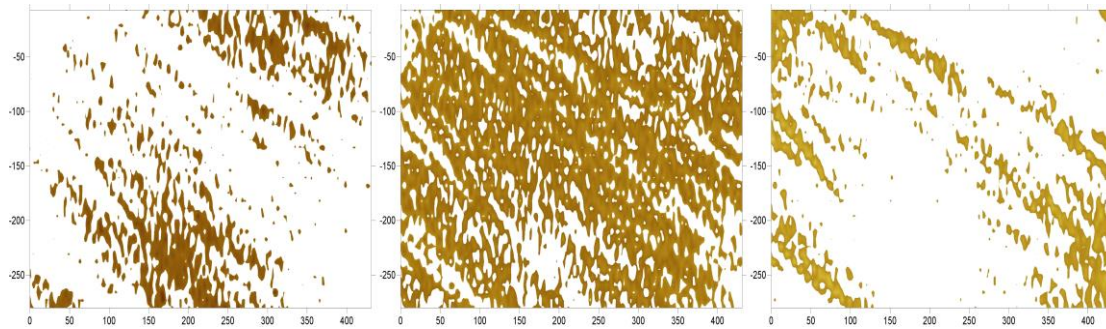
A következőkben négy, úgynevezett feltöltéses mérés eredményeit szeretném bemutatni. Először minden mintáról készült egy „száraz” mérés, ezt követően egy légmentesen lezárható tárolóedénybe kerültek, amelyből a levegőt teljesen kiszivattyúztuk (a méréseket Földes Tamás végezte). A fluidum beáramoltatása a teljes vákuum elérése után kezdődött. A mérések folyamatosan zajlottak, ahogyan a fluidum ellepte a mintákat. Ebben a fejezetben a grideken kimutatható különbségekre kívánom felhívni a figyelmet. A lehetséges statikus áramlási pályák kijelölését a 4.6 fejezetben mutatom be.

Az első minta kőzetliszt–agyag és homok váltakozásából áll (43. ábra). Az üledékek egy már a leülepedéskor is lejtős felszínen halmozódtak fel, erre utal, hogy a bal felső sarok felől a jobb alsó irányába a réteghatárok közötti távolság fokozatosan növekszik, vagy a későbbi konszolidálódást követően billentek ki helyzetükből a rétegek.



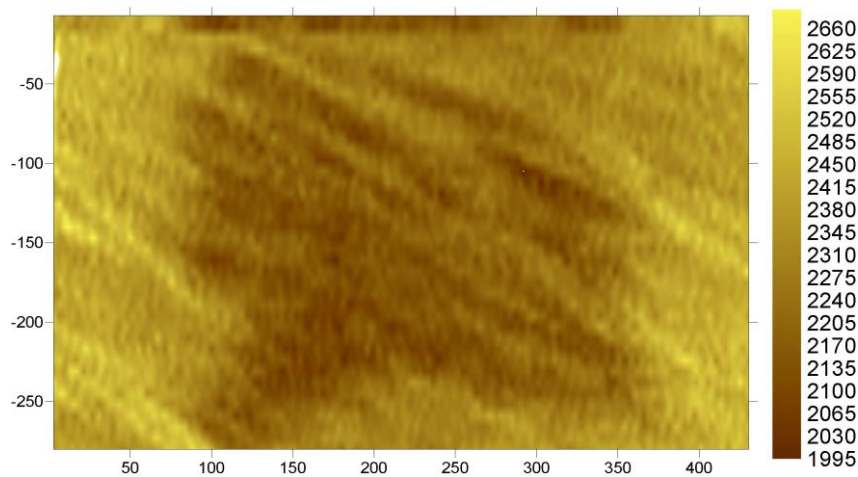
43. ábra A grid alapján megállapítható, hogy vagy lejtős felszínen halmozódott fel az üledék, vagy a későbbi tektonikai események hatására billentek ki a rétegek eredeti helyzetükből.

A feltöltés előtti minta HE értékei az alábbiak szerint alakult. Az egész gridre számolt medián 2232, az M-becslő 2233 HE. A durva szemcsemérethez tartozó medián 2136, az M-becslő 2135, a közepes szemcsemérethez tartozó medián 2237, az M-becslő 2238, míg a legkisebb esetében a medián 2367, az M-becslő 2369 (44. ábra).



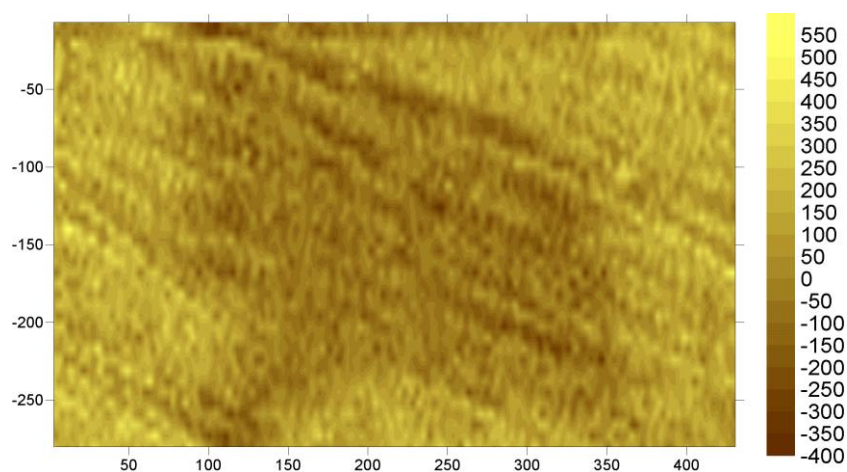
44. ábra A HE értékek alapján elkülönített adatok grid kontúrjain is jól látható, hogy az üledékek nagy valószínűséggel egy már lejtős felszínre rakódtak le, vagy az üledékek konszolidálódását követő tektonikai mozgások hatására mozdult ki eredeti helyzetéből.

A feltöltés után a minta térfogati sűrűsége némileg nagyobb lett. Az egész gridre számolt medián 2299, az M-becslő 2297 HE. A szemcseméret szerinti elkülönítést követően kiszámított értékek a durva szemcseméretre 2143 és 2142 HE, a közepes szemcseméretre 2247 és 2246 HE, a finom szemcseméretre 2394 és 2396 HE. A legnagyobb a különbség a finom szemcseméret értékei között van, pontosan 27 HE, ami már statisztikailag szignifikánsnak tekinthető. A feltöltött minta grid kontúrjában látható egy szabálytalan alakú terület, amelynek HE értékei a környezeténél jóval kisebbek (45. ábra).



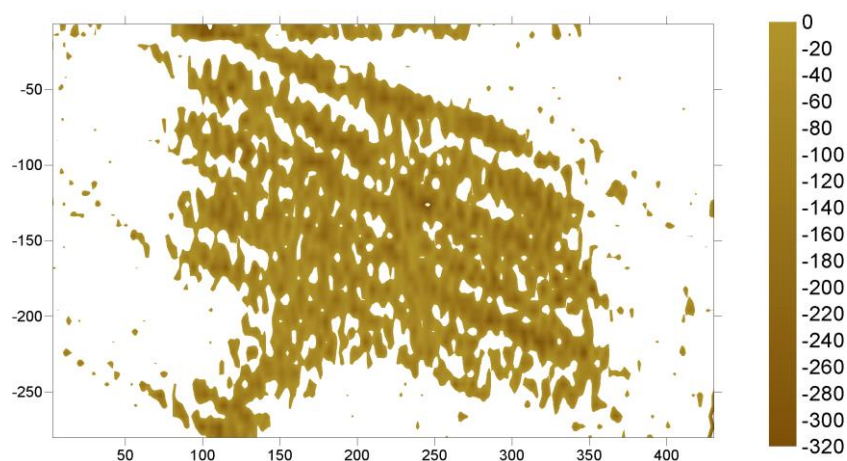
45. ábra A feltöltés utáni állapotot jeleníti meg ez a grid, amelynek a közepén látható egy a környezeténél jelentősen kisebb HE értékű szabálytalan alakzatú tartomány.

A feltöltött és a száraz gridet egymásból kivonva előáll egy olyan grid, amely pozitív és negatív értékeket is tartalmaz (46. ábra), itt is jól azonosítható a középső, kisebb HE értékeket tartalmazó terület.



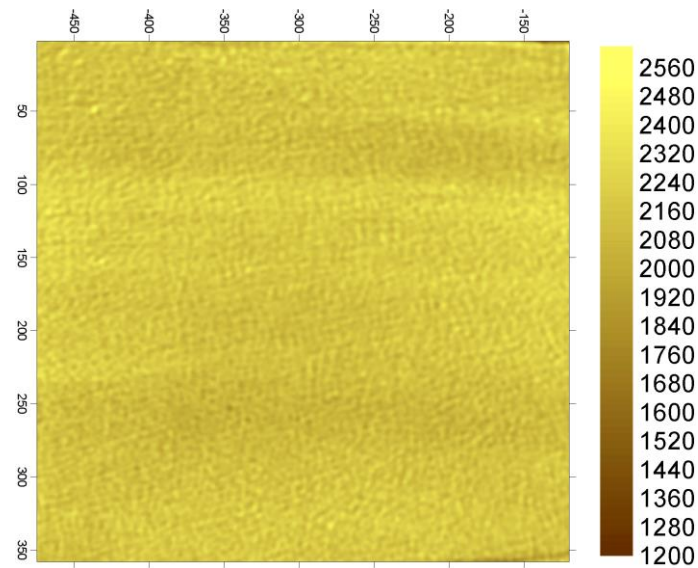
46. ábra A feltöltött és a száraz gridek különbség gridje. Természetesen pozitív és negatív értékek is megjelennek.

A nulla alatti értékeket megjelenítve megkapjuk azokat az értékeket, ahová a fluidum nem, vagy csak nagyon kis mértékben jutott el (47. ábra).



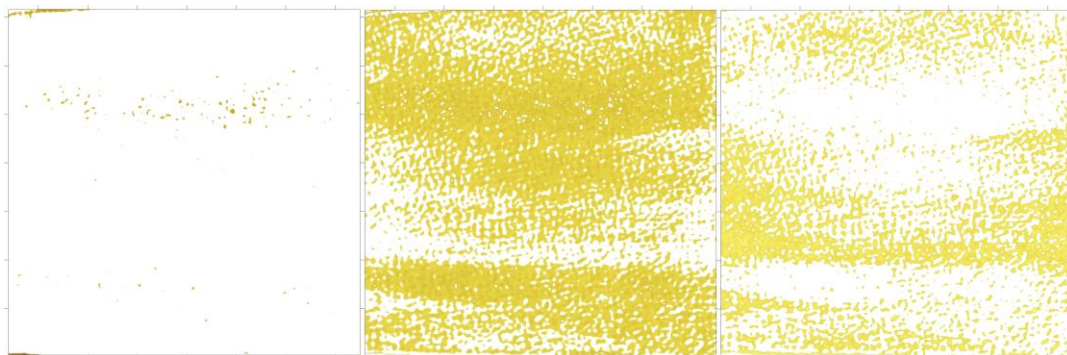
47. ábra A feltöltött és a száraz gridek különbségének nulla alatti értékei azokat a területeket mutatják, ahová a fluidum nem, vagy csak nagyon kis mértékben jutott el.

A második feltöltéses mérés egy döntően finom szemcseméretű üledékekből álló magmintán lett végrehajtva. A grid kontúron nem nagyon határozott sík párhuzamos rétegződés látható (48. ábra).



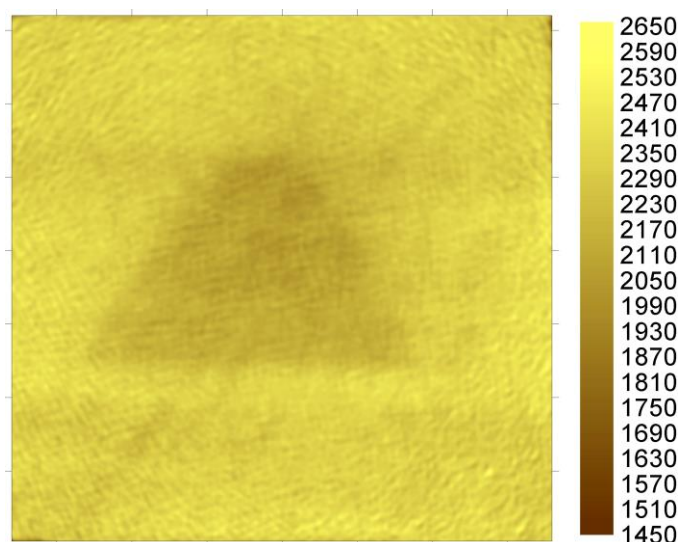
48. ábra Nem túl határozottan jelentkező sík párhuzamos rétegződés ismerhető fel. Az értékek azt mutatják, hogy döntően közepes, illetve finom szemcseméretű üledékekből áll.

A teljes gridre számított medián 2171, az M-becslő 2170 HE. A durva szemcseméretű tartozó medián 1986, az M-becslő 1985 HE, a közepes szemcseméretűnél a medián 2142, az M-becslő 2140 HE, míg a legkisebb szemcseméret esetében a medián 2234, az M-becslő 2235 HE (49. ábra).



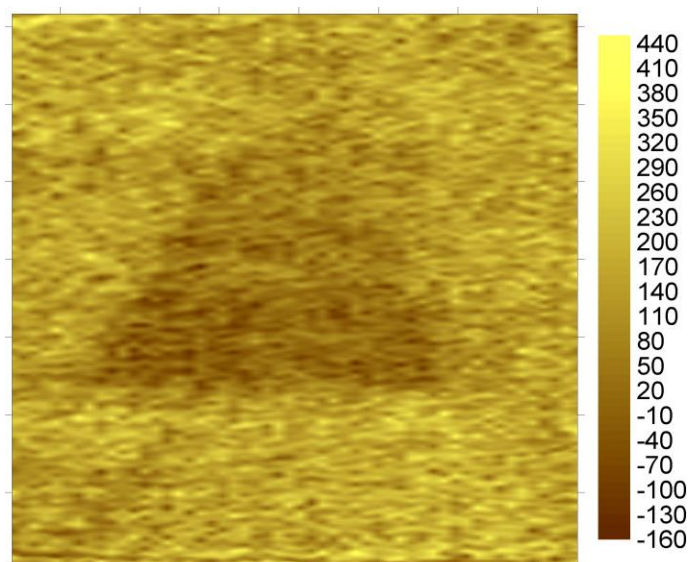
49. ábra A gridekből látható, hogy a felépítő üledékek elsősorban a közepes, illetve finom szemcseméreti kategóriákba tartoznak.

A fluidummal való feltöltés hatására a térfogati sűrűség ebben az esetben is nagyobb lett, amit a teljes gridre számított 2326 HE medián és a 2325 HE M-becslő is mutat (50. ábra). A frakciók szerinti szétválasztás is ugyanilyen eredményt hozott. A durva szemcseméret esetében a medián 2104 HE, az M-becslő 2103 HE, a közepes szemcseméret 2206 HE, és 2204 HE, míg a legfinomabb frakciónál mind a medián, mind az M-becslő egyaránt 2333 HE.



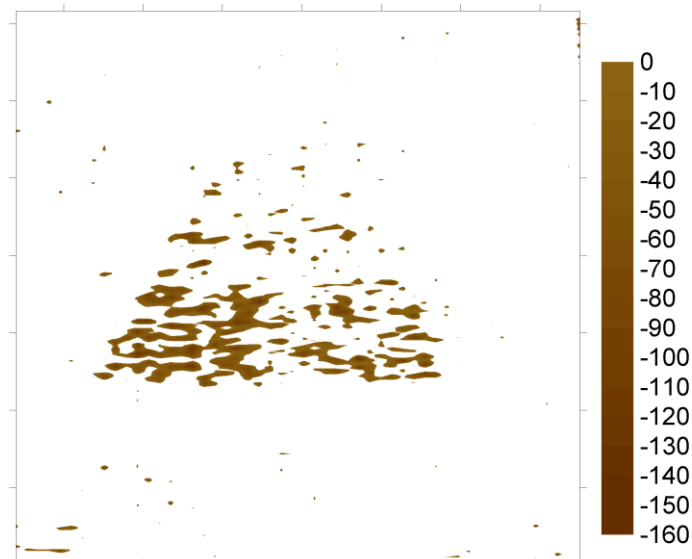
50. ábra A feltöltés következtében a térfogati sűrűség nagyobb lett az egész gridre számolva. A minta közepén, a környezeténél kisebb HE értékek jelennek meg.

A feltöltött és a száraz grideket kivonva egymásból megkapjuk a 51. ábrán látható különbség gridet. A griden jól látható, hogy a középső területen nullánál kisebb HE értékek találhatók, ami arra utal, hogy ezt a részt a fluidum egyáltalán nem, vagy csak nagyon kis mértékben érte el.



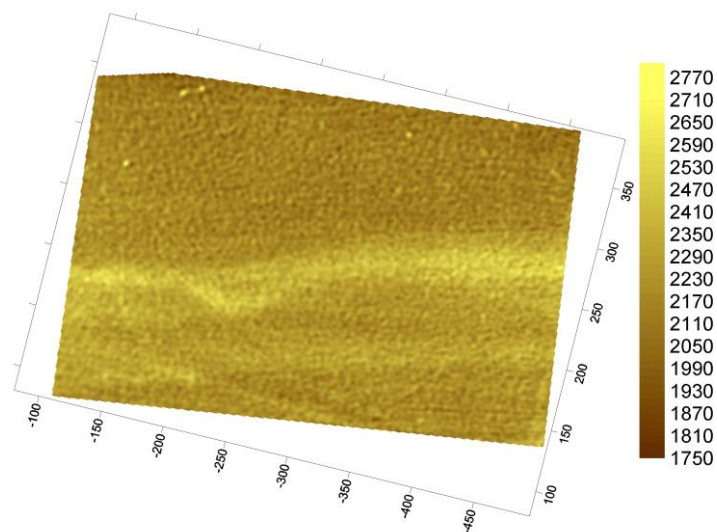
51. ábra A különbség griden jól azonosítható a minta közepén található nullánál kisebb értékeket tartalmazó terület.

A foltszerű alakzat jobban láthatóvá tehető, ha csak a nullánál kisebb értékeket jelenítjük meg (52. ábra).



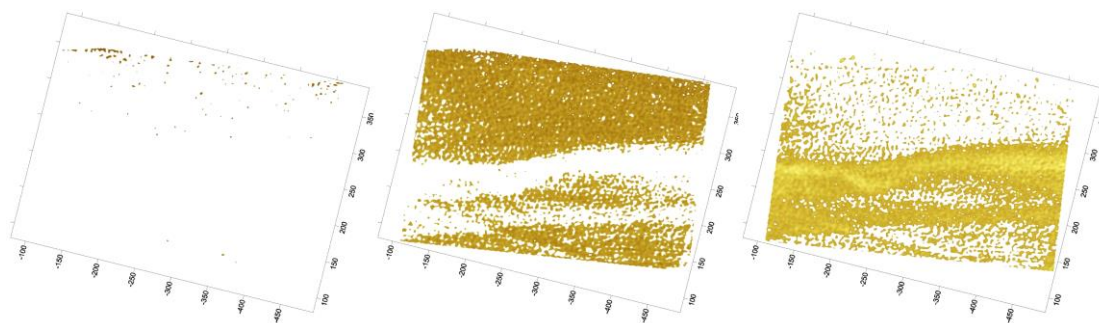
52. ábra A griden az a terület látható, amelyet nagy valószínűséggel nem ért el a fluidum a feltöltés során.

A következő feltöltéses minta azért érdemel említést, mert jól látható üledékes vetők rajzolódnak ki a grid kontúron (53. ábra).



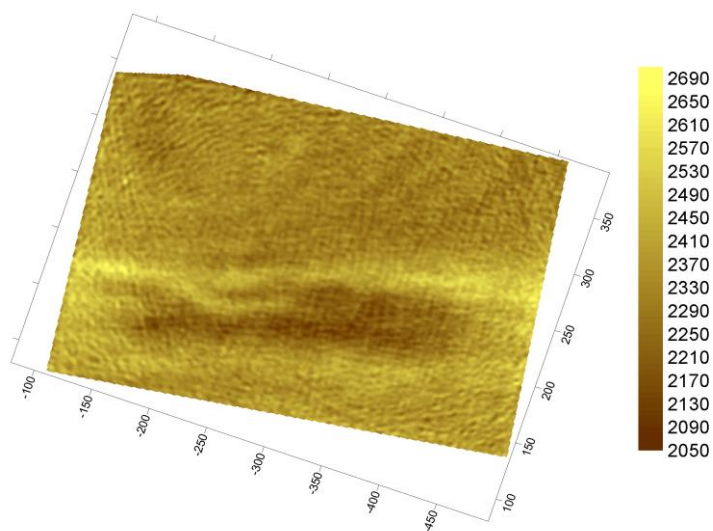
53. ábra Sik párhuzamos rétegződésű homok és kőzetliszt–agyag üledékek, valamint üledékes vetők azonosíthatók a griden.

A teljes gridre 2209 HE a medián, és 2211 HE az M-becslő értéke. A durva frakcióra a medián is és az M-becslő is egyaránt 1992 HE, a közepesre a medián 2169 HE, az M-becslő 2167 HE, valamint a legkisebbre 2316 HE a medián, és 2319 HE az M-becslő (54. ábra).



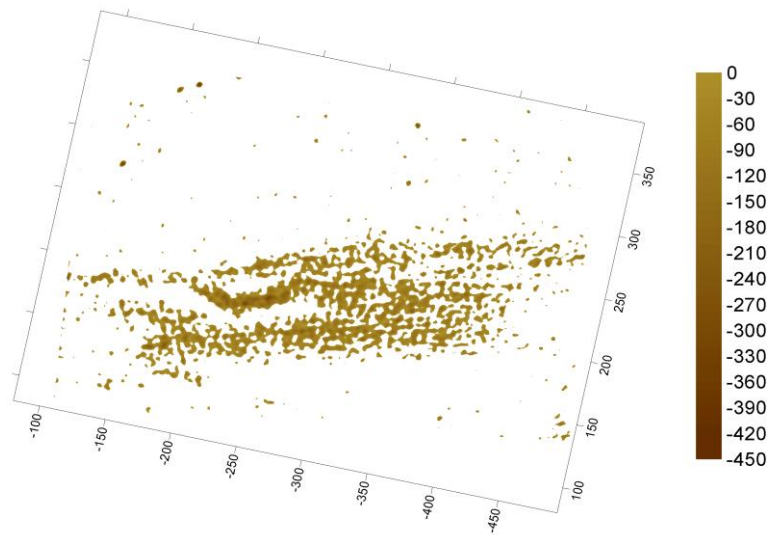
54. ábra A szemcseméret szerinti elkülönítést bemutató gridekből jól látható, hogy a minta, döntően a közepes és kisebb szemcseméreti frakciókba tartozó üledékekből áll.

A feltöltött minta térfogati sűrűsége most is nagyobb értékeket ad, a medián is és az M-becslő is 2346 HE (55. ábra).



55. ábra A gridről leolvasható, hogy a feltöltés következtében megemelkedett a grid pontok HE értéke, valamint ebben az esetben is azonosítható egy a környezeténél kisebb HE értékekkel jellemezhető szabálytalan alakú folt, nagyjából a minta közepén.

A feltöltött és a száraz gridek különbsége igen jól szemlélteti azt a részt, ahová a fluidum nem tudott eljutni (56. ábra).



56. ábra Ezen a griden az a terület van kiemelve, amelyet nagy valószínűséggel a fluidum már nem volt képes elérni.

4.3 A CT alkalmazhatósága az üledékes kőzetek numerikus

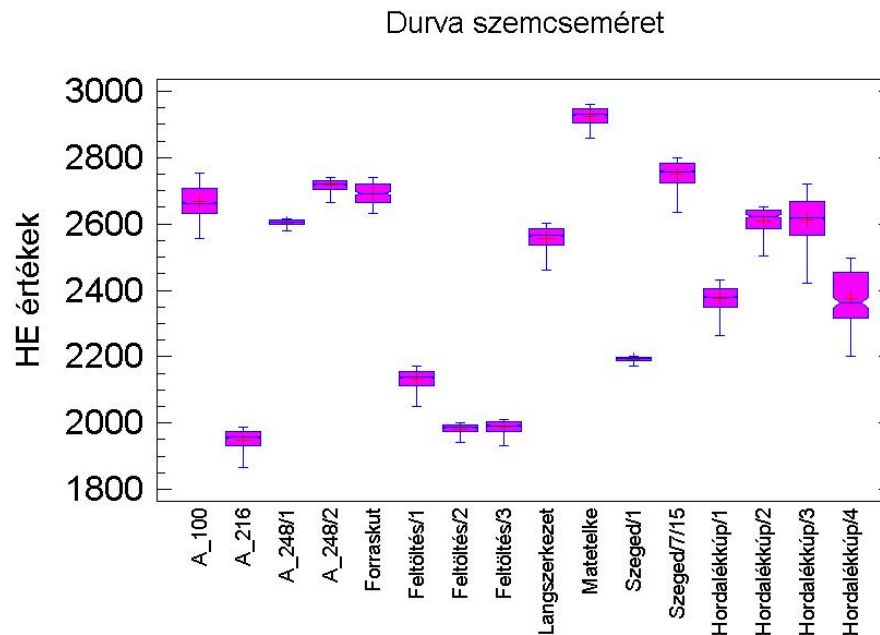
azonosításában

A CT méréssel előállított kép, a vizsgált tárgy sűrűség változásait, kétség kívül, igen szemléletesen adja vissza. Az adatokból előállított grid kontúr ugyanakkor, felbontásának köszönhetően részletgazdagabb információt biztosít. A kontúrok alkalmas megválasztásával, láttatni lehet a kívánt szerkezeti tulajdonságokat, változásokat. A szövet kisléptékű heterogenitási irányait vázoló anizotrópia képek alapján arra lehet következtetni, hogy a változások irányai is visszavezethetők a szerkezeti jellegzetességekre.

A harmadik fejezetben már beláttuk, hogy a szöveti változások valóságghűen, a c-tengelyre merőleges egyedi szeleteken csak igen korlátozottan jelennek meg. Az egyedi szeletekből előállított metszetek alkalmazhatóságát a bemutatott minták igazolták.

Lényeges kérdés, hogy a vizsgált kőzettani összetevők és szerkezeti elemek, a HE értékek alapján is különböző csoportokat alkotnak-e. A magminták esetében alkalmazott eljárás, ti. a szemcseméretnek megfelelő HE érték elkülönítés azt eredményezi, hogy az adatsorok nem normális eloszlásúak. Ezért az egyes mintákból származó, azonos frakcióhoz tartozó adatsorok összehasonlítására, a mediánok páronkénti összevetését alkalmaztam. Az összehasonlítást elvégeztem a durva, valamint a finom frakció esetében is. Néhány esetben nem adódott statisztikailag szignifikáns különbség az adat párok között. Bizonyos esetekben önkényesen választottam ki párokat, amelyek mediánja statisztikailag különböző volt, ám ez a különbség nem, vagy alig haladta meg a CT méréseknél szokásos zaj – 10 HE – értékének kétszeresét. Ez a különbség ugyanis adódhat abból, hogy eltérő nagyságú adathalmazokat hasonlítottam össze, valamint egyéb olyan tényezőből, amelyek befolyásolják a mérést. Az eljárás statisztikailag talán megkérdőjelezhető, ám minden esetben elvégeztem a szedimentológiai vizsgálatot is, amely elsősorban a felhalmozódási környezetre, valamint az adott üledék felhalmozódására vonatkozott.

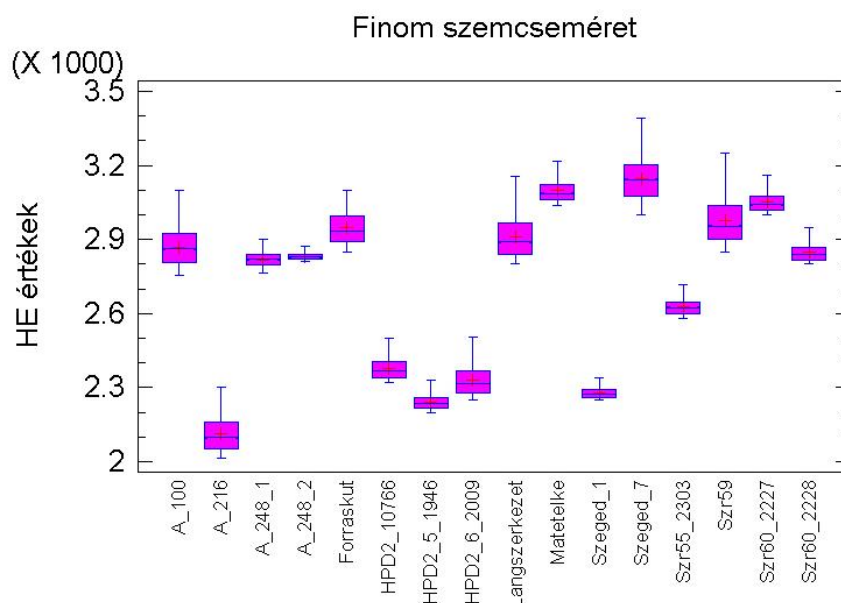
A 16 magmintából származó adatsort durva, illetve finom szemcseméreti frakció szerint szétválogatva egymással páronként összevetettem. Az eredmények azt mutatják, hogy a mintákhoz tartozó adatsorok döntően egymástól különbözőek (60. ábra).



60. ábra A grafikonon látható, hogy az adatsorok többségének különbözik a mediánja, bár néhány esetben a konfidencia intervallumok között átfedések láthatók.

Az adat párok egyenkénti elemzése kimutatta, hogy hat pár ezzel a módszerrel egymástól nem különböztethető meg. Ezek az A-248/1–Hordalékkúp/3, A-248/1–Hordalékkúp/2, A-248/2–Forráskút, Feltöltés/2–Feltöltés/3, Hordalékkúp/1–Hordalékkúp/4, és a Hordalékkúp/2–Hordalékkúp/3. Vizsgáljuk meg a mintákat a felhalmozódás jellege alapján. Az A-248/1 minta szerkezet nélküli homokkőve mélyvízi hordalékkúp környezetben, elosztó mederben alakul ki. A Hordalékkúp/1, 2, 3, 4 minták szintén mélyvízi hordalékkúp környezetből származnak. A Forráskút-1 fúrás mintája és az A-248/2 minta szöveti, szerkezeti felépítésben megegyezik, így a felhalmozódási környezet ebben az esetben is mélyvízi hordalékkúp.

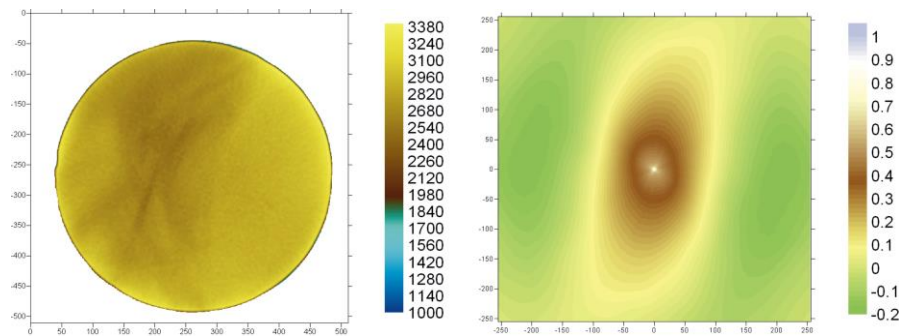
A finom szemcsemérethez tartozó HE értékek páronkénti összehasonlítása nagyjából hasonló eredményt hozott (61. ábra). Ebben az esetben öt adatpárt találtam, amelyeket a medián alapján nem lehet megkülönböztetni egymástól. Ezek az A-100–Hordalékkúp-4, A-248/1–Hordalékkúp-4, A-248/1–A-248/2, A-248/2–Hordalékkúp-4, és a Forráskút–Hordalékkúp-2.



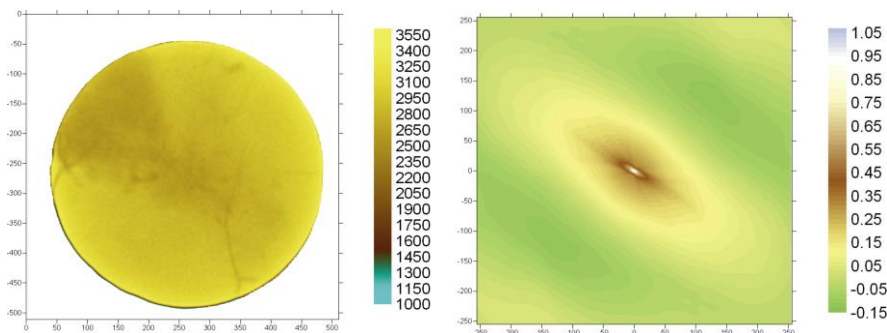
61. ábra A durva szemcsemérethez hasonlóan, a finom szemcseméret esetében is többségében különböznek az adatsorok medián értékei.

A mediánok alapján meg nem különböztethető adat párok mintái azonos felhalmozódási környezetben képződtek. Az A-248/1 és az A-248/2 a finom szemcsemérethez tartozó adatok alapján teljesen azonosak, míg a durva szemcsemérethez tartozók alapján különböznek egymástól. Ennek a látszólagos ellentmondásnak a feloldása igen egyszerű. Az A-248/1 magminta homokkőve szerkezet nélküli homokkő, míg az A-248/2 mintáé hullámfodor és dűne homok. A mediánok közötti különbség a felhalmozódás jellegében mutatkozó különbséget tükrözi, a szerkezet nélküli homokkő a hirtelen kiüledés miatt nem osztályozott, míg a hullámfodor, vagy dűne kialakulása során a szemcsék osztályozottabbak, szorosabban illeszkednek.

A grid kontúrok térbeli folytonossága, anizotrópiája tükrözi a magmintákon látható szöveti, szerkezeti viszonyokat. A 62 a, b ábrákon két egyedi szelet grid kontúrja és a hozzá tartozó korrelogram látható. A grid kontúrokon a sötét barna sávok jelölik valamely tulajdonság, jelen esetben szemcseméret változás, kétdimenziós kiterjedését. Mindkét szeleten azonosítható egy fő folytonossági irány, mely irányban az adott tulajdonság nagyobb távolságra követhető, geostatistikai terminológiával élve, nagyobb a hatástávolság. Ugyanez az anizotrop jelleg látható a korrelogramon is, tehát ebben az esetben a korrelogram az anizotrópia ellipszis.

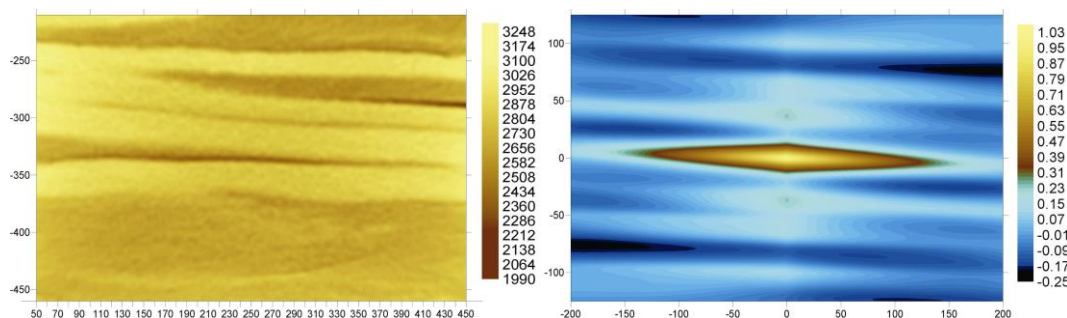


62a. ábra Az A-100 jelű fúrásból származó magminta egyik egyedi szeletének grid képe, és a hozzá tartozó korrelogram, amely az anizotrópia ellipszis is egyben.



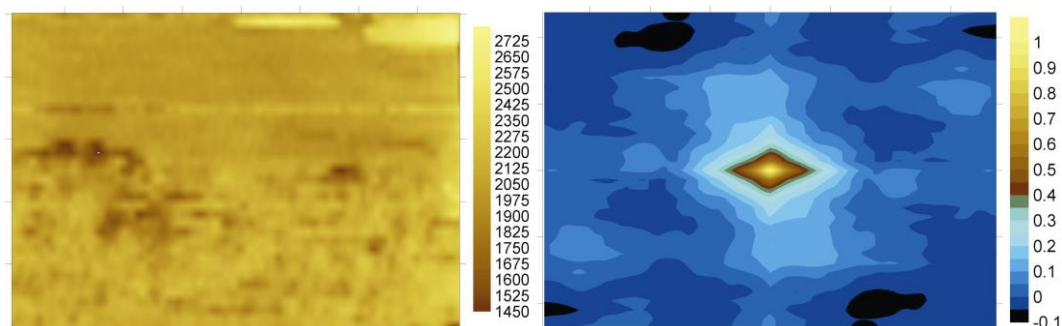
62b. ábra Az A-248 jelű fúrásból származó magminta egyik egyedi szeletének grid képe, és a hozzá tartozó korrelogram. Az előző ábrához hasonlóan itt is jól látszik, hogy a korrelogram által kijelölt fő folytonossági irány, megegyezik a grid kontúron látható fő folytonossággal.

Az egyedi szeletekből készült metszetek a geológiai időt jelenítik meg. A metszeteket az eredeti mintákkal, vagy azok fényképével összehasonlítva látható, hogy meglehetősen jól visszaadják azok szöveti, szerkezeti jellegzetességeiket. Ezekhez a metszet gridekhez is elkészítettem a korrelogramokat. A 63. ábrán az A-100 jelű magminta grid képe és korrelogramja látható. A mintára a vékony homokkő–aleurolit rétegek váltakozása jellemző. A korrelogram igen jól jeleníti meg a felhalmozódás jellegéből következő vízszintes folytonosságot (63. ábra).



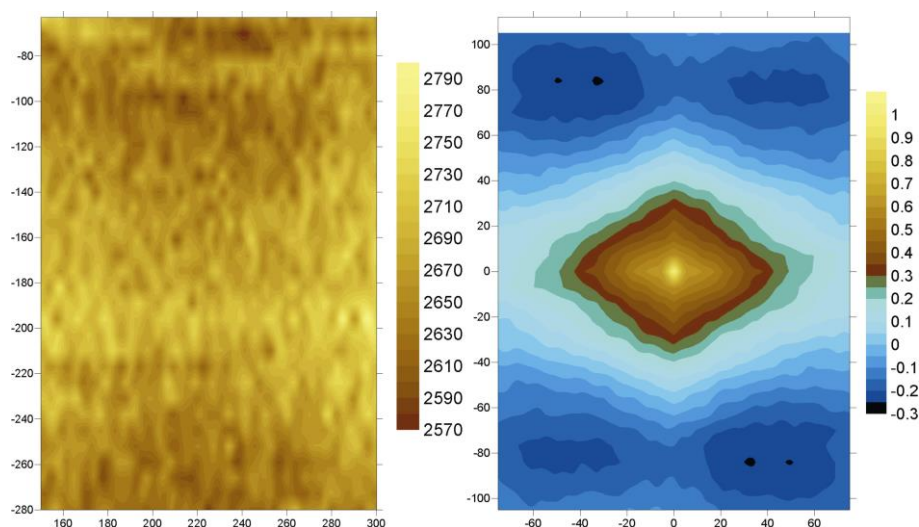
63. ábra Az A-100 jelű fúrásból származó magminta egyedi szeletekből előállított metszetének grid képe, és a hozzá tartozó térbeli folytonosságot ábrázoló korrelogram.

Az A-216 jelű minta kialakulásában mind a vízszintes, mind a függőleges irányú mozgásfolyamatok közrejátszottak. Ezt a genetikai jellegzetességet tükrözi a korrelogram is (64. ábra).



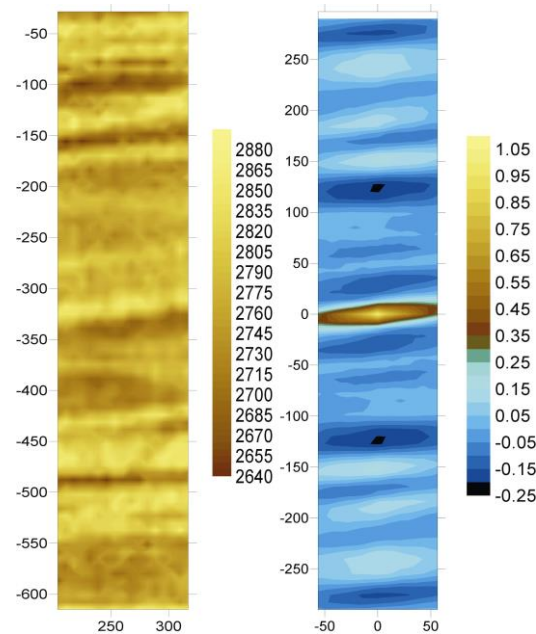
64. ábra A torkolati zátonyon felhalmozódó üledékekre vízszintes és függőleges irányú folyamatok is hatnak. A térbeli folytonosságot ábrázoló korrelogram ennek megfelelően jelöli ki a folytonossági irányokat.

Az A-248/1 minta szerkezet nélküli homokkőve nagy energiájú áramlásból, hirtelen ülepedik ki, ebből következően szintén egy vízszintes és egy függőleges irányú komponens határozza meg a belső felépítését (65. ábra).



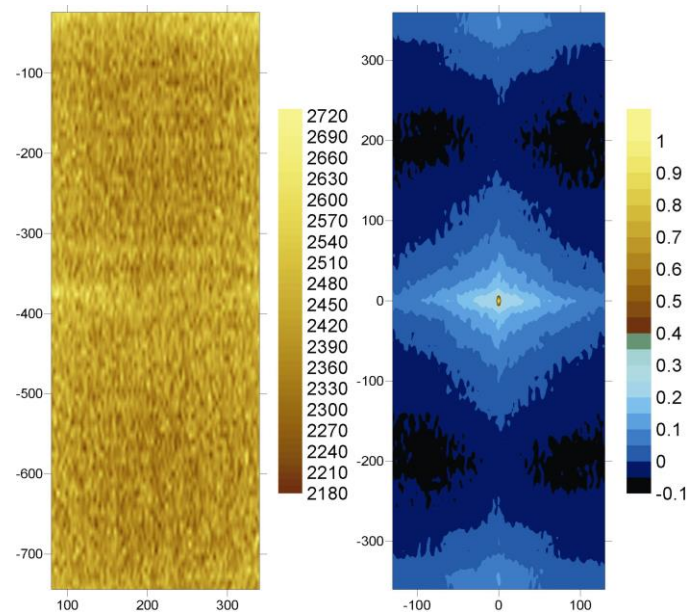
65. ábra A szerkezet nélküli homokkő genetikájára jellemző heterogenitás jelenik meg a korrelogramon is. A nagy energiájú áramlás vízszintes, valamint a hirtelen, gravitációs hatásra történő kiülepedés függőleges komponense egyaránt fontos kialakító tényező.

Az A-248/2 minta esetében a gridet le kellett szűkítenem ahhoz, hogy az iszap infiltráció hatását ki tudjam küszöbölni. A korrelogramot is a „leszűkített” gridre számítottam ki (66. ábra).



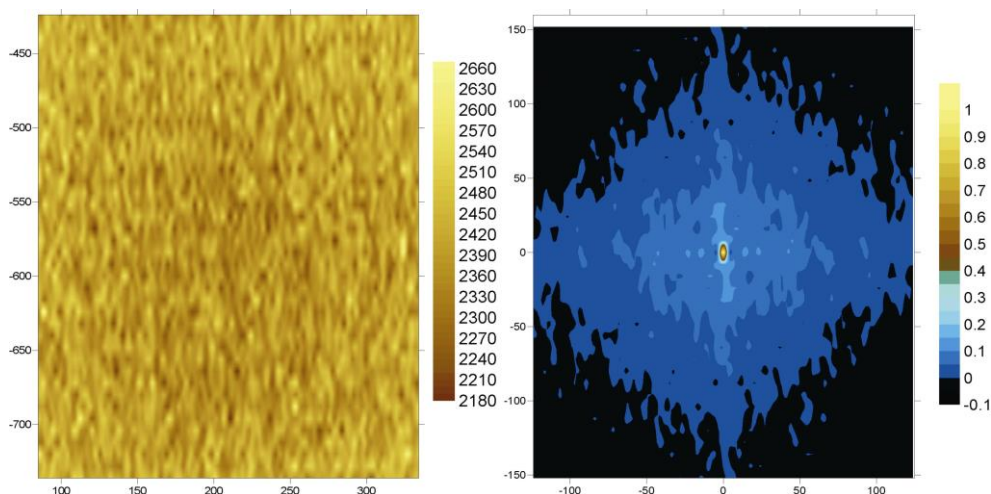
66. ábra A fúróiszap infiltráció következménye a magasabb HE értékek megjelenése. A helyes, a valós folytonosságnak megfelelő korrelogramot csakis ezen értékek eltávolítása után lehet előállítani. A korrelogramon az is jól látható, hogy több homokkő réteg található a mintában, amelyek egymástól jól elkülöníthetők.

A Hordalékkúp-1 jelű mintában szerkezet nélküli homokkőveket összeolvadási felszín választ el egymástól. A felszín feletti egység grid kontúrjának közepén felfedezhető két kevésbé hangsúlyos összeolvadási felszín. Ezek a felszínek hatással vannak a korrelogramra is (68. ábra).



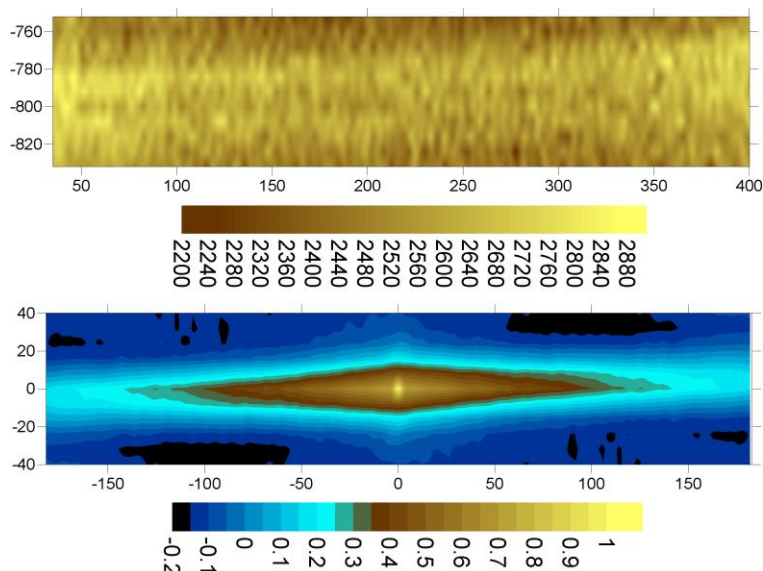
68. ábra A grid kontúr közepén jól látható a két kevésbé hangsúlyos összeolvadási felszín. Hatásuk a grid adatpontjaira a korrelogramon látható igazán, ugyanis a vízszintes összetevő nagyobb, mint a függőleges.

Abban az esetben, ha a gridet még jobban leszűkítem, az A-248/1 minta szerkezet nélküli homokkővének korrelogramjához hasonló képet kapok (69. ábra).



69. ábra Abban az esetben, ha csak a szerkezet nélküli homokkő adatpontjai vannak feltüntetve a griden, az anizotrópia ellipszis megváltozik, a függőleges összetevő hangsúlyosabbá válik.

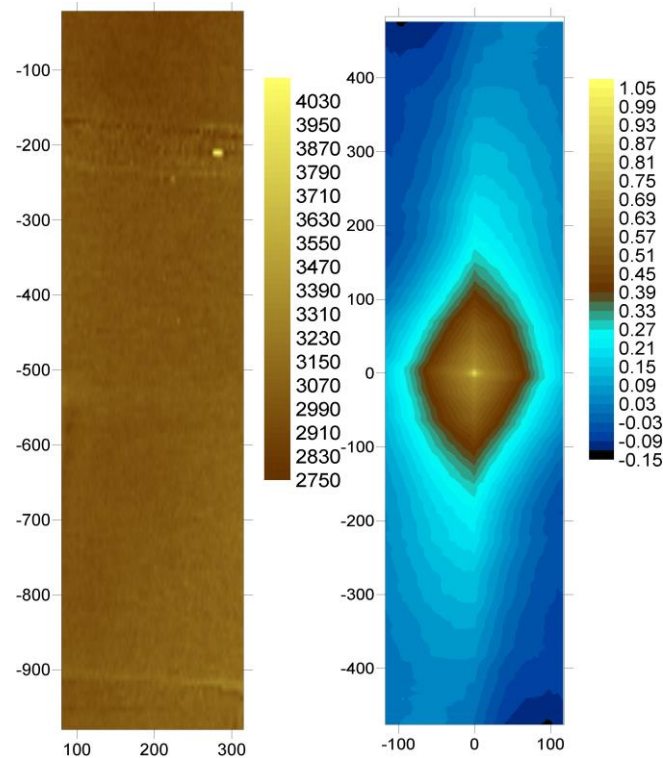
Az összeolvadási felszint kiemelve részletesebben megvizsgálható annak belső felépítése (28. ábra). A genetikából következő anizotrópia szemléletesen jelenik meg a korrelogramon (70. ábra).



70. ábra Az összeolvadási felszín egy eróziós felület, ennek megfelelően az anizotrópia ellipszis nagytengelye vízszintes helyzetű.

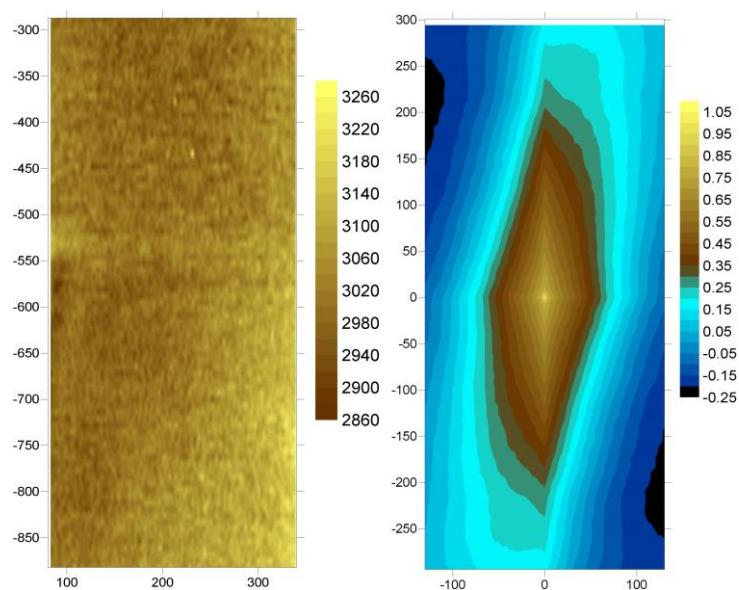
A Mátételke-1/1518 jelű mintában szintén összeolvadási felszínek választanak el szerkezet nélküli homokkő rétegeket. A minta széleiről ebben az esetben is eltávolítottam az

infiltráció következtében megjelent magas HE értékeket. Az erre a gridre kiszámított korrelogram ismételten híven tükrözi a felhalmozódás jellegének megfelelő szöveti elrendeződést (71. ábra).



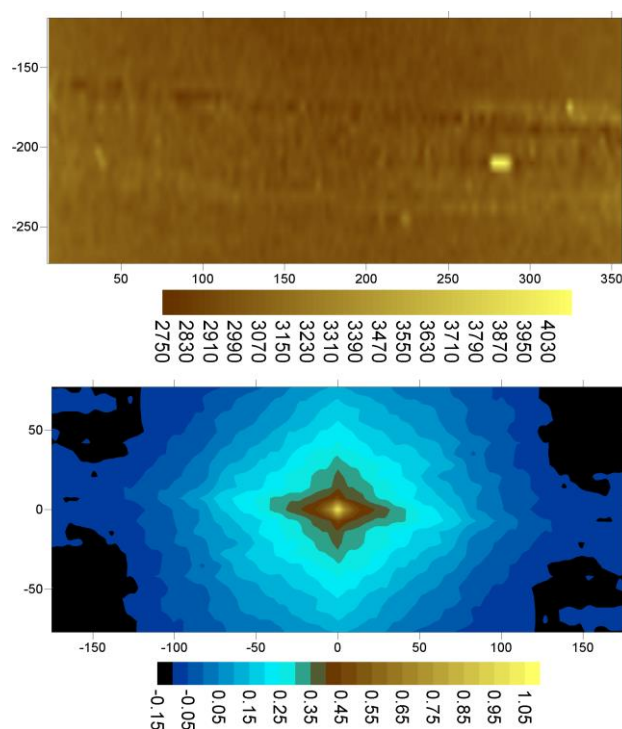
71. ábra A teljes gridre kiszámított korrelogramon látható anizotrópia ellipszis nagytengelye függőleges, ami arra utal, hogy az adatok többsége a szerkezet nélküli homokkőhöz tartozik.

Abban az esetben, ha az összeolvadási felszínek közötti szerkezet nélküli homokkő grid pontjait kiemelem, a korrelogramon látható anizotrópia ellipszis függőleges irányban elnyújtottabb lesz, a korábbi magminták szerkezet nélküli homokköveihez hasonlóan (72. ábra).



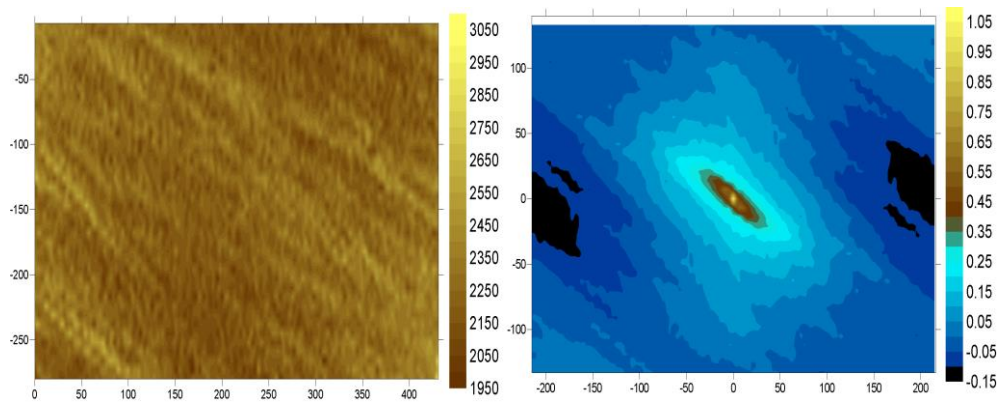
72. ábra Az összeolvadási felszínek közötti homokkővet ábrázolva, a felhalmozódás jellegéből következően az anizotrópia ellipszis függőlegesen elnyújtottabb

Az összeolvadási felszín korrelogramján látható anizotrópia ellipszis az előző mintához hasonlóan vízszintes irányban elnyújtott (73. ábra).



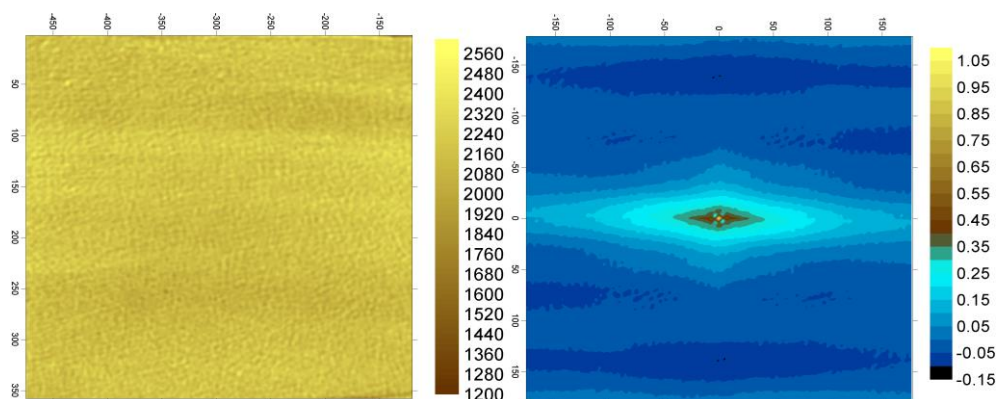
73. ábra Az anizotrópia ellipszis nagytengelye vízszintes irányú, tehát a kialakító folyamatok közül a vízszintes irányú volt a domináns.

Az első feltöltés magminta adatpontjaira kiszámított korrelogram, a grid kontúrnak megfelelően a vízszintes irányból kibillent anizotrópia ellipszist mutat (74. ábra).



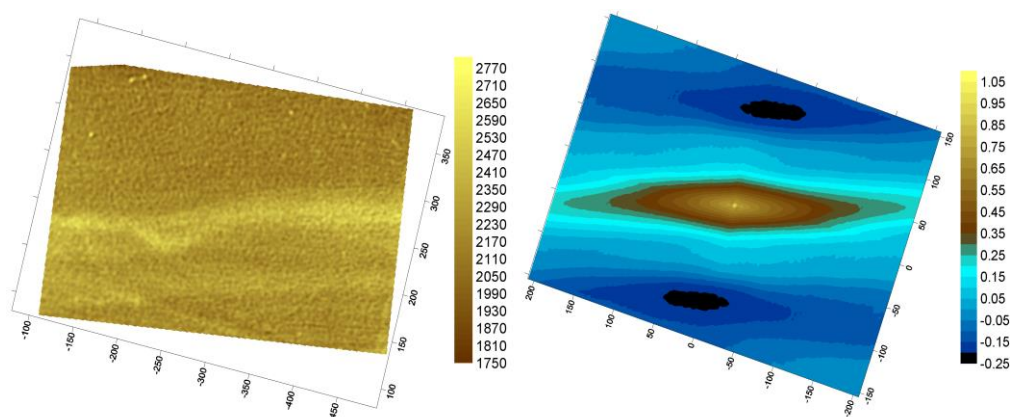
74. ábra Az anizotrópia ellipszis nagytengelye a vízszintessel szöget zár be, ami alátámasztja, hogy az üledékek vagy egy fokozatosan lejtő felszínen halmozódtak fel, vagy a leülepedést követően billentek ki eredeti helyzetükből.

A második feltöltés mintája sík párhuzamos rétegződésű finomszemcsés üledékekből áll, a kiszámított korrelogramon látható anizotrópia ellipszis is ennek megfelelő helyzetű, ugyanakkor nem utal határozott rétegződésre (75. ábra).



75. ábra A korrelogramon látható folytonossági irányok alátámasztják a grid kontúron látható szöveti elrendeződést, bár határozott rétegződésre utaló zonalitás nem látható.

A következő, szintén feltöltés mintájú grid kontúrján egyértelműen azonosítható üledékes vetők láthatók, amelyek az üledékek konszolidálódását követően alakultak ki. Ennek megfelelően, hatásuk a korrelogramon is látható (76. ábra).



76. ábra Az üledékek vízszintes felszínre ülepedtek le, ezt követően, pl. csuszamlások hatására kisléptékű üledékes vetők jelentek meg. Az üledékes vetők módosítják a térbeli folytonosságot, ennek hatása látható a korrelogramon is.

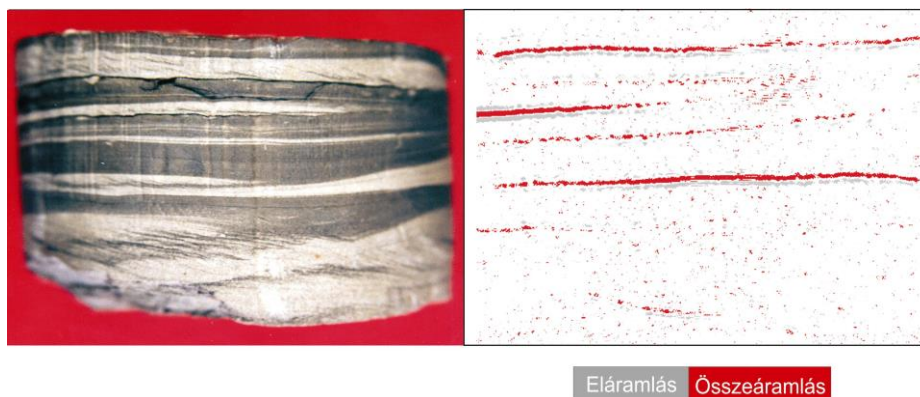
4.4 A HE értékek alapján előre jelezhető áramlási kép

A Laplace operátor ($\partial^2 Z$) egy olyan matematikai eszköz, amely meghatározza a nettó hozzááramlás ($\partial^2 Z > 0$), valamint nettó eláramlás ($\partial^2 Z < 0$) mennyiségét egy adott felszínen, vagy térfogatra számítva. Az operátor segítségével létrehozott griden, a beáramlási vagy összeáramlási zónák pozitív, míg a kiáramlási zónák negatív előjelűek. A hagyományos fizikai mennyiségek – pl.: talajvíz, hő, elektromos töltés –, egy adott pontban mérhető áramlási értéke, függ az abban a pontban fellépő gradienstől. Meghatározása többváltozós egyenlettel lehetséges:

$$\partial^2 Z = \frac{\delta^2 z}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 Z}{\delta y^2}.$$

Az üledékes kőzetek szerkezete, fizikai tulajdonságai, a HE értékek alapján – bizonyos feltételekkel, lásd 4.4 fejezet –, meglehetősen jól felismerhetők. A Laplace operátor alkalmazását olyan mintákon célszerű megtenni, amelyek heterogenitása egyértelműen jelzi, hol alakulhatnak ki gyengeségi zónák, potenciális áramlási útvonalak, amelyek mentén a fluidum képes lenne áramolni.

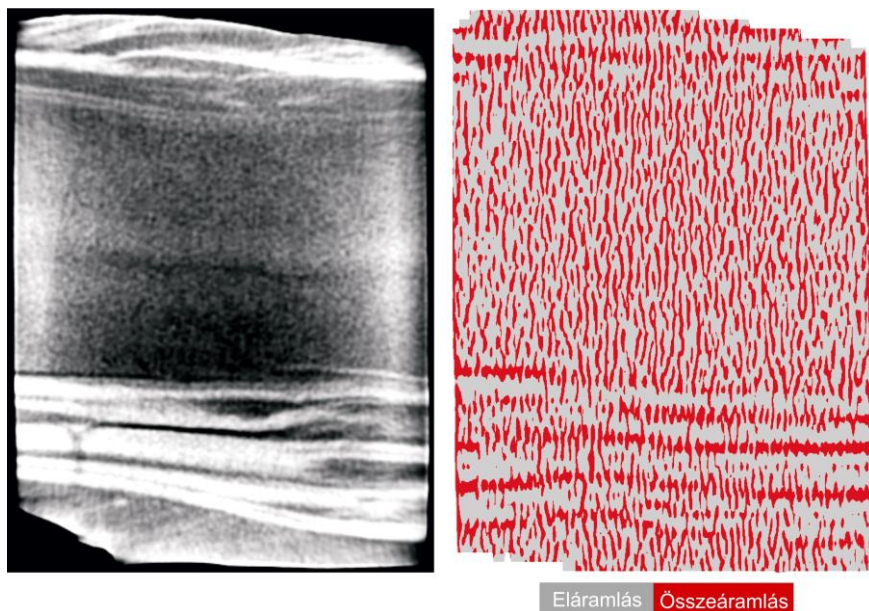
Az A-100 jelű minta felépítése teljes mértékben alkalmassá teszi a statikus áramlási pályák kiszámolására. A 84. ábrán jól látható, hogy az összeáramlási zónák a homokkő–aleurolit érintkezési felületek mentén, valamint az eróziós felszíneken alakulnak ki.



84. ábra A statikus áramlási pályák összeáramlási zónái, a homokkő rétegek alsó határoló felületei mentén alakulnak ki. A durvább szemcseméretű üledékeket, nagyobb energiájú áramlások mozgatják, megjelenésükkor az alsó, finomszemű üledékek egy részét erodálják. Az így kialakuló eróziós felszínnek a legkisebb ellenállású területek közé tartoznak, potenciális áramlási felületeket jelölnek ki.

Az A-248/1 jelű mintában a szerkezet nélküli homokkő kialakulásában a függőleges irányú összetevő nagyobb szerepet játszik, mint a vízszintes, ezért ideális közeg a függőleges

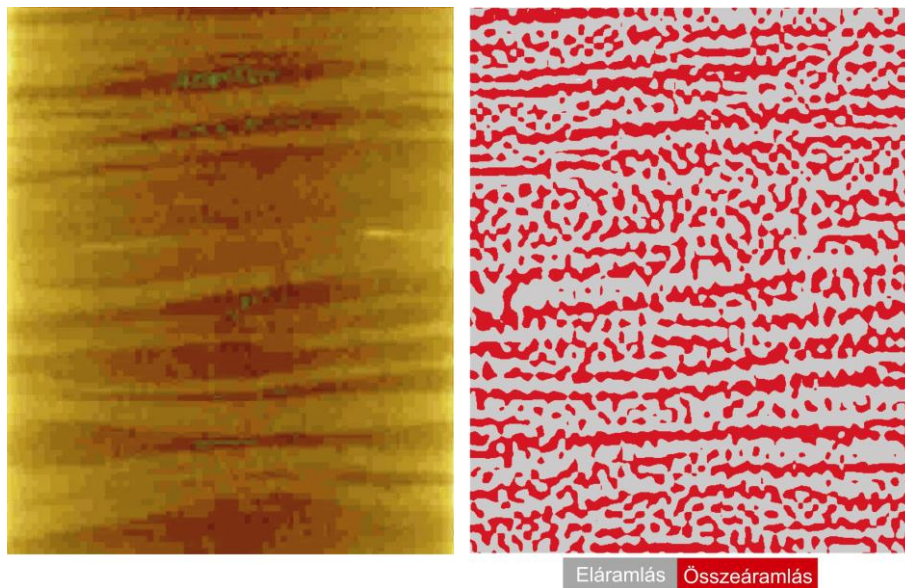
irányú áramlások kialakulásához. Az alsó határoló felülete azonban egy eróziós felszín, amely a várakozásnak megfelelően vízszintes összeáramlási zónaként jelenik meg a griden (85. ábra).



85. ábra Jól látható az eróziós felszín a homokkő rétegek alján. Ezek a gyengeségi területek, mint összeáramlási zónák jelennek meg a jobb oldali Laplace operátorral készült statikus áramlási griden. A szerkezet nélküli homokkőben a kialakulásának megfelelő függőleges áramlási irányok jelölhetőek ki.

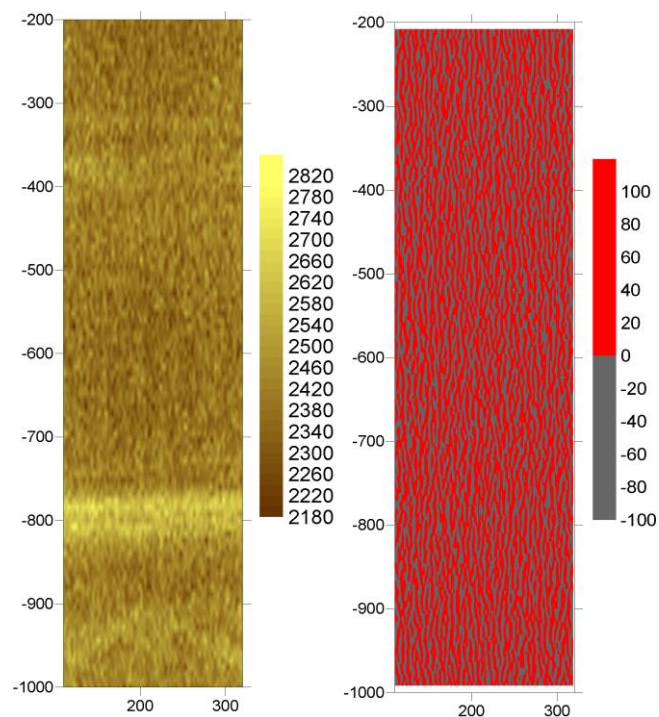
Az aleurolitot és a homokkövet elválasztó eróziós felszínek vízszintes áramlási pályákat jelölnek ki, ezzel szemben, a szerkezet nélküli homokkőben erre merőleges, függőleges áramlási irányok valószínűsíthetőek. A függőleges áramlási irány a szerkezet nélküli homokkő keletkezésével van összefüggésben, hiszen ilyen esetekben az üledék nagyon hirtelen ülepedik ki, szinte kizuhan a szuszpenzióból.

Az A-248/2 mintában homokkő és aleurolit rétegek váltakoznak, az A-100 jelű mintához hasonlóan. Az összeáramlási pályák a szerkezeti tulajdonságoknak megfelelően, a rétegekkel párhuzamosan, közel vízszintesen jelennek meg (86. ábra).



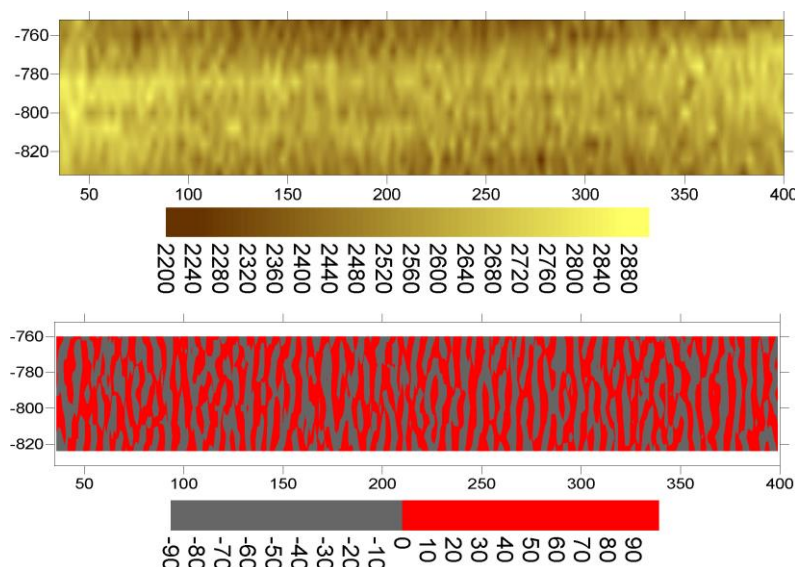
86. ábra Az üledékes szerkezeti tulajdonságoknak megfelelően, az összeáramlási zónák a rétegekkel párhuzamosan, közel vízszintesen jelennek meg a mintában. Ebben az esetben is a homokkövetek alulról határoló eróziós felszínek az elsődleges áramlási pályák.

A Hordalékkúp-1 jelű minta szerkezet nélküli homokkőből áll, ennek következtében a függőleges irányú áramlások kialakulása valószínűsíthető. A feltételezést a kiszámított grid is alátámasztja (87. ábra).



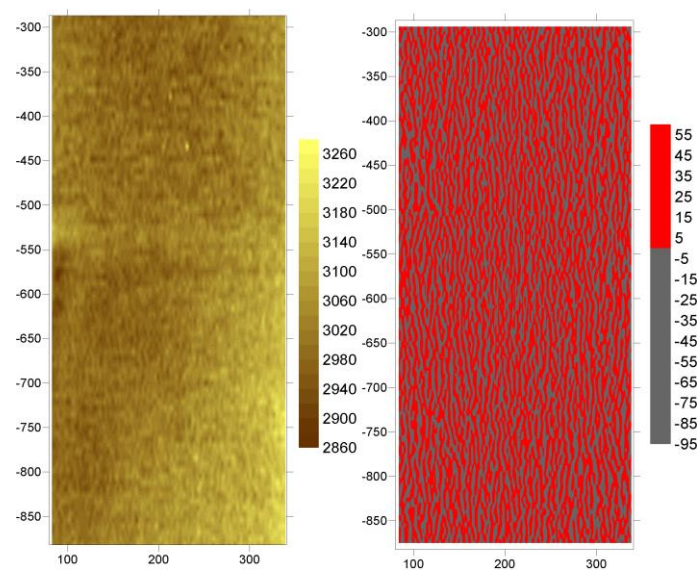
87. ábra A várakozásoknak megfelelően, a kiszámított áramlási irányok függőlegesek. A jobb oldali griden nem látható nyoma az összeolvadási felszíneknek.

Abban az esetben, ha csak az összeolvadási felszínt emelem ki, a korrelogrammal ellentétben nem lesz vízszintes irányú a feltételezhető áramlási irány (88. ábra).



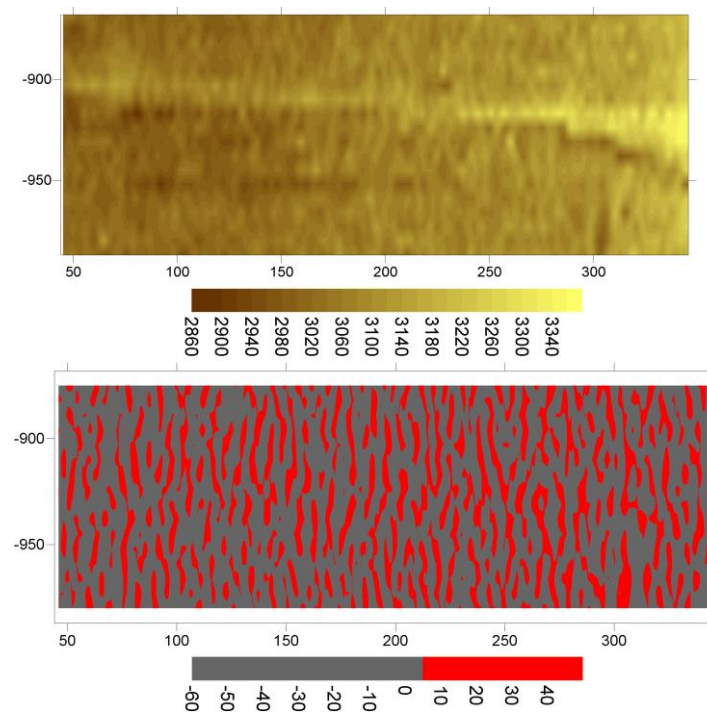
88. ábra Az összeolvadási felszín grid kontúrja és a Laplace operátorral kiszámított statikus áramlási pályák képe. Jól látható, hogy a korrelogrammal ellentétben, a feltételezhető áramlási pályák függőleges irányúak.

A Mátételke-1/1518 magmintában összeolvadási felszínek kapcsolnak össze szerkezet nélküli homokkő rétegeket (29. ábra). Az összeolvadási felszínek által közrefogott szerkezet nélküli homokkőben a valószínűsíthető áramlási pályák, az A-248/1 és Hordalékkúp-1 jelű mintákhoz hasonlóan, függőleges irányúak (89. ábra).

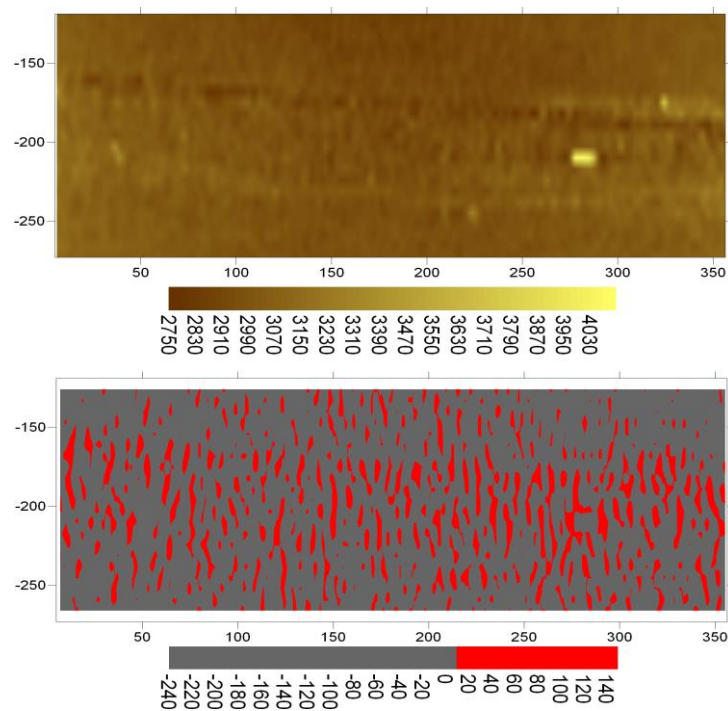


89. ábra Az összeolvadási felszínek által közrefogott szerkezet nélküli homokkő feltételezhető áramlási pályái az eddigi mintákhoz hasonlóan függőleges irányúak.

Az alsó, valamint a felső összeolvadási felszínek az előző magminta összeolvadási felszínéhez hasonlóan, szintén függőleges áramlási irányokat mutat (90., 91. ábra).

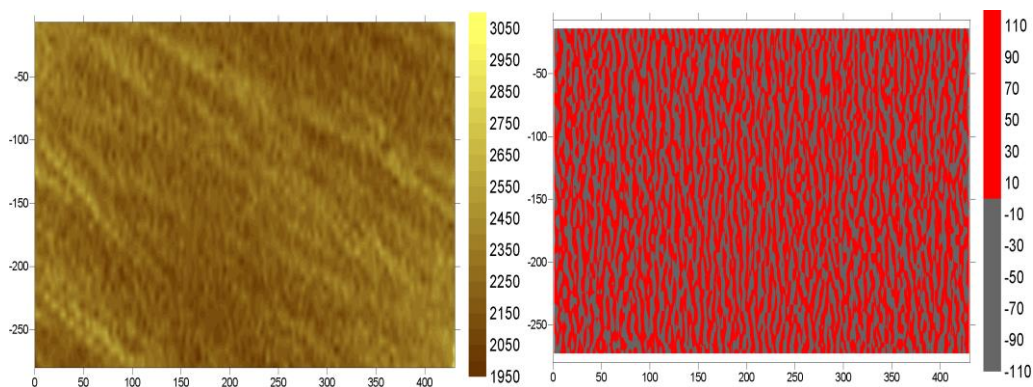


90. ábra Az alsó összeolvadási felszín grid kontúrja és statikus áramlási pályái. Jól látható, hogy a feltételezhető áramlás függőleges irányban haladna.



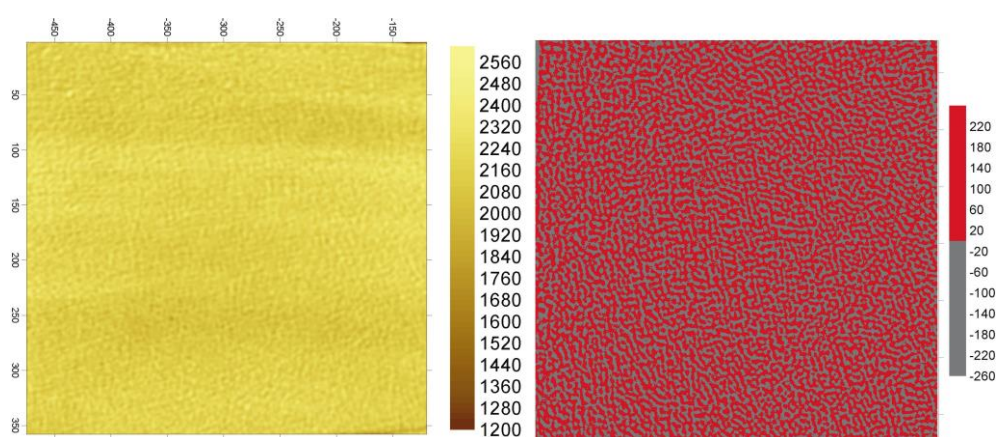
91. ábra A felső összeolvadási felszín grid kontúrja és statikus áramlási pályái. Az alsó felszínnel ellentétben az összeáramlási zónák kevésbé hangsúlyosak.

Az első feltöltéses mérés magmintájának grid kontúrja (43. ábra) kibillent rétegeket ábrázol. A Laplace operátorral elkészített áramlási pályák a szöveti képnek megfelelő feltételezhető áramlási irányokat jelölnék ki (92. ábra).



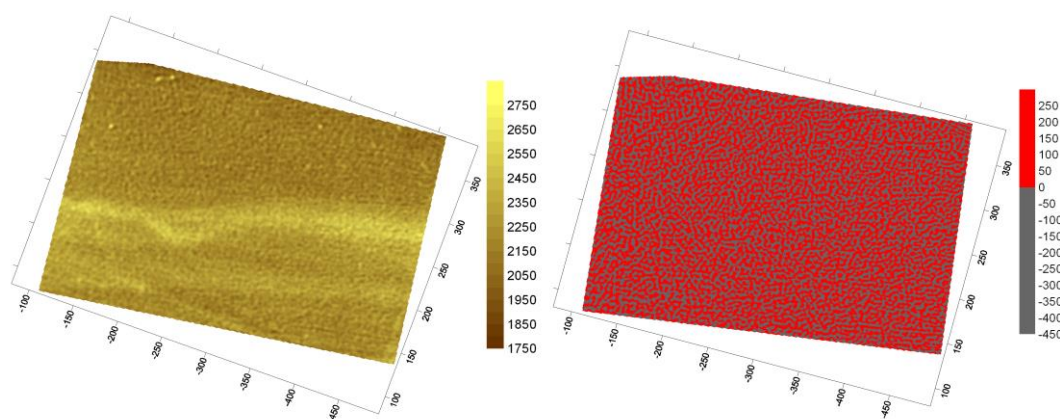
92. ábra A magmintában grid kontúron látható szöveti elrendeződésnek megfelelő statikus áramlási pályák kialakulása feltételezhető, ahol is a finomabb szemcseméretű réteglemezek, mint kismértékben át nem eresztő felszínek, a homokos rétegek, és a hozzájuk kapcsolódó eróziós felszínek, mint összeáramlási felszínek jelennek meg.

A következő feltöltéses magmintában nem határozott sík párhuzamos rétegződés figyelhető meg. A korrelogram alátámasztotta ugyan a grid kontúron látható szöveti elrendeződést, a kiszámított statikus áramlási pályák azonban, az áramlás szempontjából, egy teljesen homogén közeget mutatnak (93. ábra).



93. ábra A Laplace operátorral kiszámított statikus áramlási pályák az áramlás szempontjából homogén közeget mutatnak.

A legutolsó feltöltéses magminta, amelyben üledékes vetők azonosíthatóak, a várakozással ellentétben az áramlás szempontjából szintén teljesen homogén közegnek mutatkozott (94. ábra).



94. ábra A rétegződés, valamint az üledékes vetők mind a grid kontúron, mind a korrelogramon megjelennek, ennek ellenére a kiszámított statikus áramlási pályák szempontjából a közeg teljesen homogén.

4.5 Üledékképződési mikro-ciklusok kimutatása HE értékek

felhasználásával

Egy rendszer heterogenitása a homogén egységek változékonyságától függ. A makroszkóposan homogén kőzetek belső felépítéséről korábban nem tudtunk információt nyerni. Az eddig elvégzett CT mérésekből nyert adatsorok elemzése azonban azt mutatja, hogy egyes homogén kőzetek szerkezetüket tekintve heterogének. A hordalékkúpoknál kevésbé heterogén üledékképződési környezetekben is előfordulhatnak belső heterogenitást kialakító folyamatok. A természetesen lefűződött morotvák csendes vízi környezetek, ahol nagymértékű üledékbeszállításra és felhalmozódásra, markáns üledékes szerkezetek kialakulására nem számíthatunk. A nagyobb árvizek alkalmával azonban a morotvát és az élő folyót elválasztó természetes partgátakon átbukhat egy-egy turbulens, szuszpenziós áramlás, amely, energiájától függően, megváltoztathatja a mederben felhalmozódó üledékek összetételét.

A Felső-Tisza vidékén több elhagyott morotva és csatlós, vagy elvonszolódott meder (yazoo meder) található (77. ábra).

A Király-érhez tartozó egyik mederbe közel 2,5 méteres fúrást mélyítettek az SzTE, Földtani és Őslénytani Tanszék munkatársai. A kutatás célja a mederszakasz fejlődéstörténetének feltárása volt. Radiokarbon kormeghatározás, pollenelemzés, puhatestű vázmaradványok elemzése, szedimentológiai vizsgálatok, nehézasvány-összetétel meghatározás, valamint CT felvételek elkészítése szerepelt a vizsgálatok között.

A szedimentológiai elemzés három nagyobb üledékképződési rendszerbe sorolta a feltárt üledékeket (78. ábra).

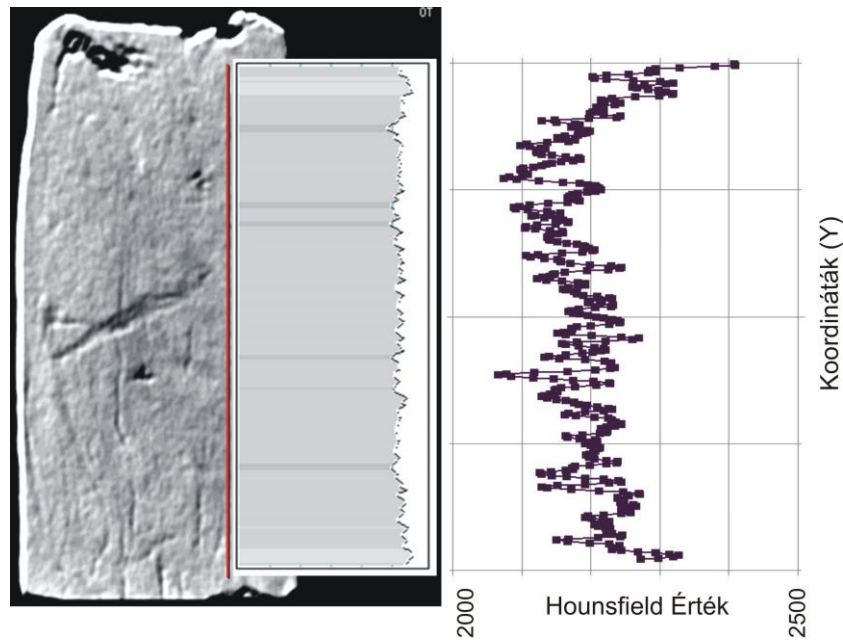
Legalul a nagy energiájú meder alakulatok találhatóak. E felett, kb. 1,8 méter hosszan, morotva környezetben felhalmozódott üledéket láthatunk. A legfinomabb szemcseméretű üledékeket időnként durvább, homokos üledékbetelepülések szakítják meg. A durvább üledékek megjelenése arra utal, hogy a morotvát gyakran előnthette a folyó, például nagyobb árvizek alkalmával, amikor is a nagyobb energiaviszonyoknak megfelelő, durvább üledékeket hagyta maga után.

A kisebb áramlású, vagy áramlásmentes időszakokban, szerves anyagban dús, finom aleuritos agyag ($\Phi > 7$) üledékek halmozódtak fel. A CT mérésre kiválasztott magminta is ebből a szakaszból, mintegy 1,6 méter mélységből származik. Az üledék makroszkóposan homogén, szürkés barnás színű, enyhén konszolidált, kora diagenetikus állapotú (79. ábra).



79. ábra A magminta makroszkóposan homogén, nagy szerves anyag tartalmú. Döntően áramlásoktól mentes, nyugodt vízi környezetben halmozódott fel.

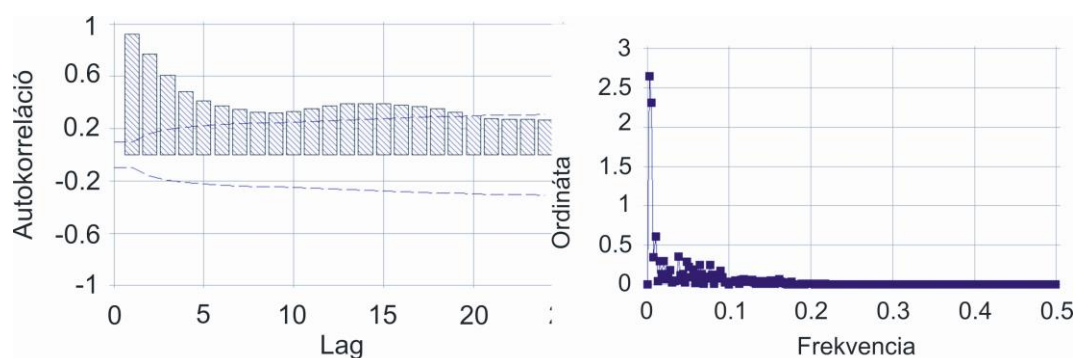
A HE értékeket a minta hossz tengelyével párhuzamos szakasz mentén vettem. A szakasz hossza 0,125 méter, az adatok száma 387, tehát a „mintázási” sűrűség 0,32 mm (80. ábra).



80. ábra A piros színű szakasz jelöli a HE értékek helyét. A beillesztet ábrán látható, hogy a mérési adatok nem egy egyenes vonalat rajzolnak ki, tehát a minta mikro léptékben heterogén. A jobb oldali grafikonon a HE értékek láthatóak, egyenközü skálán ábrázolva.

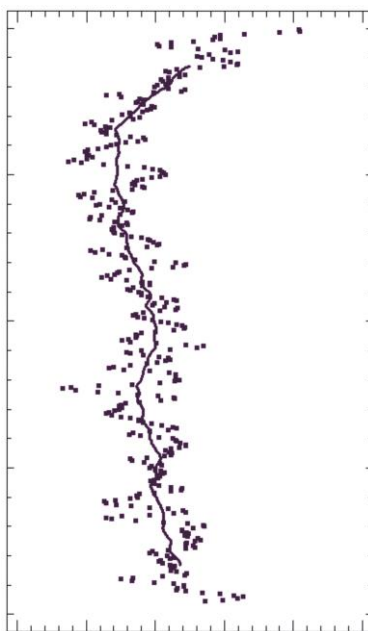
Homogén törmelékes üledékek estében a geológiai idő nem más, mint vastagság. Ezt a tényt alkalmazva, a HE értékek egyenközü skáláját, mint idősor grafikonként értelmezhetjük (80. ábra).

A mérési értékekből előállított periodogram (81. ábra) segítségével kiválasztottam egy olyan időperiódust, amely igen jól illeszkedik az idősor grafikonra (82. ábra). Ez az elméleti egység, amely 64 mérési egység hosszúságú, képezte a további vizsgálatok alapját.



81. ábra Az autokorrelációs számítás igazolja azt a feltevést, hogy az adatok nem véletlenszerű mintázásból származnak. A periodogramon megjelenő legnagyobb csúcs, egy olyan szemcseméretet jelöl, amelyik ismétlődve jelenik meg az adatsorban.

A trend ciklus grafikonon jól látszik, hogy egy közel szimmetrikus üledékképződésről van szó (82. ábra).

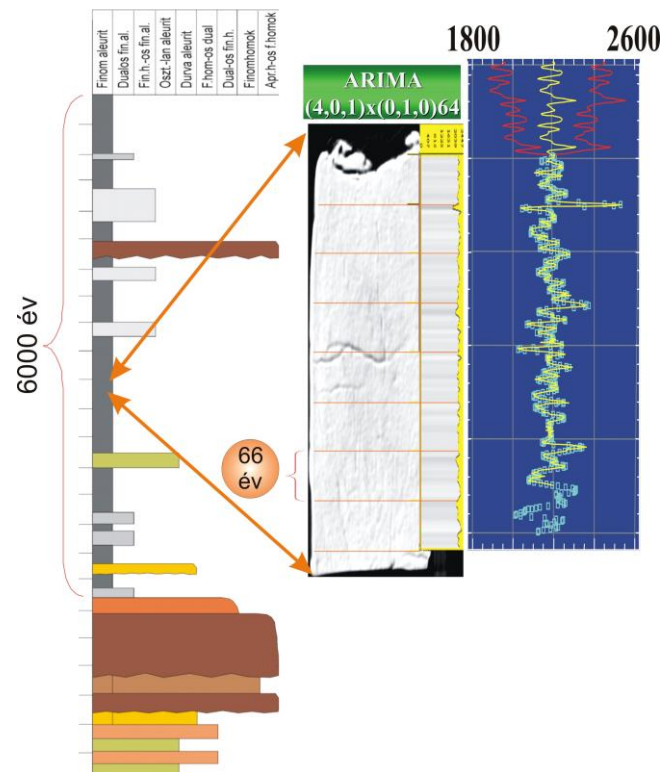


82.ábra A 31.ábrából kinagyított HE érték grafikonon látható, hogy a mérési adatokra illesztett trend-ciklus egy közel szimmetrikus üledékképződési ciklust jelöl.

Ez azt jelenti, hogy az adatok nem véletlenszerűen lettek kiválasztva. Ezt a feltételezést igazolja az autokorelációs grafikon is, amelyen jól látható, hogy az adatok 95%-os konfidencia szint mellett, 24-ből 13 esetben statisztikailag szignifikánsak (81. ábra).

Minden 64. értéket eggyel jelöltem, a köztes adatokat nullával. Az eggyel jelölt adatok képezik a matematikai modell alapját, az összes többit figyelmen kívül hagytam. Így a mérési intervallum pontosan megegyezik az elméleti egységgel. Minden 64. adatpont ugyanazt a mérési értéket képviseli, a megfelelő HE értékkel eltolva.

Az autoregresszív integrált mozgó átlagos (ARIMA) modell igazolta a feltevést, amely szerint a 64 mérési egység hosszúságú adatsor kiválasztása helyes volt (83. ábra).



83. ábra A magminta eredeti helyzete a kőzetoszlopban. A mintában periodikusan ismétlődő üledékképződési ciklust lehet kimutatni. A megfelelő ciklushossz kiválasztását az ARIMA modell is igazolta. A számítások alapján a ciklusos üledék 66 év alatt halmozódott fel, vastagsága 2 cm. A jobb oldali ábrán az adatok 100 egységre kiszámított előrejelzése látható, 95%-os konfidencia szint mellett. Az értékek HE-ben vannak kifejezve.

Mivel a kőzetoszlopban durvább üledékek is találhatóak, nem zárható ki az eróziós hiátus megléte. A közel 1,8 méter hosszú üledéksor 6000 évet képvisel. Az időperiódus könnyebb kiszámolása érdekében, tételezzük fel, hogy a felszíntől 0,5 méterre található finom homok betelepülés nem képvisel jelentős üledékhiányt. Ennek a feltételezése nem alaptalan, hiszen az üledék vastagsága elhanyagolható. Ebből adódóan a 64 mérési egység hosszúságú időperiódus 2 cm üledéket képvisel, amely kb. 66 év alatt halmozódott fel.

5 Diszkusszió

A törmelékes üledékek metamorf, magmás, és üledékes kőzetekből képződhetnek. A megőrződött ásványok, ásványtársulások a későbbi kőzet térfogatsűrűségét, kémiai összetételét, porozitását, víztartalmát alapvetően befolyásolják. A tiszta ásványfázisok CT mérési eredményei (Honarpour et al., 1985; Raynaud et al., 1987), csupán hozzávetőleges értékeket adnak a minta térfogatsűrűségére vonatkozóan. A tiszta ásványfázisok HE értéke nagymértékben függ az egymás melletti atomok nagyságától, a köztük lévő távolságtól, a rácsban megtalálható egyéb atomok részarányától, a kristályok orientációjától, a szennyeződésektől, valamint a szerkezeti elváltozásoktól (Honarpour et al., 1985). Ahhoz, hogy pontosabban meg lehessen állapítani az ásványos összetétel sugárzásgyengítési hatását, részletes ásványtani elemzésre van szükség. A felhasznált korábbi ásványos összetételi vizsgálatok eredményei (Bérczi, Viczián, 1973), és az általam kiszámolt CTN értékek egyezése arra enged következtetni, hogy döntően a kvarc határozza meg a vizsgált homokkővek HE értékét.

A röntgensugár elnyelődésének számszerűsített egysége (Hounsfield Egység), valójában a pórusok, és a nem-pórusok térfogatát, tehát a minta térfogati sűrűségét tükrözi. A Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézete által kőzetmérésekre rendelkezésünkre bocsátott CT készülékek, elsősorban orvosi célokat szolgálnak. A műszerek által biztosított felbontás nem elegendő a törmelékes üledékes kőzetek egyes ásványszemcséinek megjelenítésére. Az üledéktípusok elkülönítése elsősorban a szemcseméretben jelentkező határozott különbségen; az azonos szemcseméretű üledékek esetében, pedig a magasabb diagenizáltsági fokon lévő üledékek nagyobb térfogati sűrűsége alapján lehetséges.

A diagenézis során lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok (kompakció, újrakristályosodás, oldódás, cementáció, autigenezis, helyettesítődés, bioturbáció) hatására az üledék jelentős változáson megy át. Az ásványos összetétel, a nyomás, a hőmérséklet, a pórusfluidum természete és áramlásának mértéke, a porozitás, a permeabilitás mind hatással van a különféle folyamatok lezajlásának mértékére. A felhalmozódó üledékek sokfélesége, a folyamatokat befolyásoló környezeti hatások összetettsége révén, igen nehéz egyértelműen meghatározni a diagenetikus folyamatok sűrűsége gyakorolt hatását.

Az A-248/1 jelű fúrás szerkezet nélküli homokkővének vékonycsiszolataiban, a földpát ásványokat kalcit veszi körbe (Balogh et al., 1968). A homokkővek legkönnyebben oldódó alkotója a kalcit cement. A de-cementációs folyamat hatására a megnövekedő pórustér, csökkenő pórusnyomást eredményez, aminek kalcit újrakristályosodás a következménye. A

cement feloldódása igen jelentős szerepet játszik a másodlagos porozitás kialakulásában. Ebben az esetben a kalcit egy poszt-genetikus ásvány, amelynek kialakulása megnöveli a pórusteret. Ugyanakkor, laboratóriumi kísérletek kimutatták, hogy a turbidit áramlások fej részében az üledék a középső egysége gyorsabban halad előre, mint az alatta, valamint felette levő részeken. A kísérletek során felrajzolt függőleges sebesség profil megegyezik az általam bemutatott grafikonon látható HE értékeket megjelenítő profillal (14. ábra).

Ugyanezen mintában, a szerkezet nélküli homokkő HE értékeit bemutató grafikonon látható boltozathoz hasonló szerkezet, amely rövidebb, fluktuáló ciklusokból áll (11. ábra). Ezek alapján feltételezhető valamilyen réteglemezesség jelenléte a mintában. Bár a réteglemezesség kialakulásának feltételei nem adóttak, a szemcsék orientációja okozhatja a HE értékek fluktuációját.

A HE értékekből előállított gridek sok esetben tartalmaznak olyan adatokat is, amelyeket el kell távolítani a numerikus feldolgozás megkezdése előtt. Ennek következtében az eredetileg is különböző méretű magmintákból, különböző méretű gridek képződnek, amelynek vonzata, hogy az összehasonlított adatsorok eltérő nagyságrendű számú adatot tartalmaznak. Az adatok számának növelése bizonyos mennyiség után nem eredményezi a statisztikai paraméterek változását, ugyanakkor elképzelhető, hogy lényegesen különböző számú adatot tartalmazó adatsor összehasonlításakor, a kapott eredmények, pl. a medián értékek tekintetében az eredmény statisztikailag kimutatható különbség, holott az adatszámok kis különbsége esetén ez a megállapítás nem állná meg a helyét. Az ilyen típusú összehasonlítások során mindenképpen alapos szedimentológiai vizsgálatokat kell elvégezni, meghatározni a minta korát, a felhalmozódási környezetet, az üledékes fáciest, a HE értékek alapján azonos szemcseméreti kategóriába sorolt üledékek felhalmozódási jellegének elemzését és összehasonlítását. Az eltérő felhalmozódási környezetben, vagy eltérő jellegű felhalmozódás során képződött, valamint a nem azonos korú üledékek HE értékeinek összehasonlítása teljes mértékben hibás módszer.

Az összeolvadási felszínek térbeli folytonosságát ábrázoló korrelogramok, a képződésüknek megfelelő anizotrópia ellipsziseket jelenítettek meg. Ugyanezekre a gridekre számolt statikus áramlási pályák képe a korrelogramokkal ellentétes lehetséges áramlási irányokat jelöltek ki. Ezek az áramlási irányok összhangban vannak a szerkezet nélküli homokkő lehetséges áramlási irányjaival. Így elképzelhető, hogy a mintákban megjelent összeolvadási felszínek kialakulásukat tekintve, ebben a kisebb léptékben inkább a szerkezet nélküli homokkövekkel mutatnak rokoni kapcsolatot, sem mint a nagyobb hordalékkúpok kialakulásakor megfigyelt összeolvadási felszínekkel.

A periodikus ciklusok, rendszeresen visszatérő homok, vagy kőzetliszt tartalmú áramlások által felhalmozott jellegzetes üledékek hatására alakulhatnak ki. Ugyanakkor, más jellegű folyamatok is létrehozhatnak helyi heterogenitásokat. A poszt-litifikációs, vagy tágabb értelemben véve a poszt-depozíciós, oldatok ion migrációja, mint például a de-cementáció, okozhat relatíve alacsony, helyi HE értékeket. A pórus fluidum telítődhet bizonyos ionokban. Ha az ionok kicsapódása többször ismétlődik, az eredmény egy periodikus ciklus. Bizonyos fizikai, kémiai feltételek teljesülése esetén, a másodlagos cementáció, a porozitás és ásványhelyettesítés létrehozhatnak hasonló periodicitást. A magmintában ezek a feltételek nem teljesülnek.

6 Következtetések, javaslatok

Az elmúlt négy év alapkutatásának fő feladata volt, a törmelékes üledékes kőzetek kisléptékű heterogenitásának rekonstruálása, a CT mérések során detektált sugárzásgyengítési értékek, röviden Hounsfield Egység értékek numerikus feldolgozásával. A kutatás során felmerült megoldandó feladatokat az alábbi kérdésekben foglaltam össze: (1) A közetsűrűségen alapuló mérési eredményekből előállított képen azonosíthatóak-e az üledékes szerkezetek? (2) A törmelékes üledékes kőzetek szöveti változásai, tükröződnek-e a mért értékek változásaiban? (3) Lehet-e a különböző kőzettípusokat numerikusan azonosítani? (4) Az azonosíthatóság, milyen mértékben függ egy adott kőzetminta, valamint a mintát magába foglaló üledékes környezet geológiai fejlődéstörténetétől? (5) A mérési adatokat felhasználva, ki lehet-e mutatni gyengeségi zónákat, valamint potenciális áramlási pályákat? (6) Vajon a CT által biztosított, makroszkóposan homogén törmelékes üledékes kőzetekből származó mérési adatok, alkalmasak-e üledékképződési mikro-ciklusok kimutatására?

Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy a módszer alkalmas kisléptékű üledékszerkezetek, valamint makroszkóposan homogén kőzetek belső heterogenitásának vizsgálatára. Igen nagy előny, hogy a megjeleníthető kép egyben adat is. A sugárzásgyengítési (HE) értékek a felhasználó által meghatározható háromdimenziós cellára vonatkoznak, a legkisebb felbontás $0.1 \times 0.1 \times 1.0$ mm. Ennél jobb felbontást csupán a pásztázó elektron mikroszkóp, és a μ CT képes biztosítani.

A makró léptékű üledékes szerkezetek, szöveti változások meglehetősen jól felismerhetők az OSIRIS képmegjelenítő szoftver segítségével. Az általam vizsgált valamennyi minta OSIRIS-szel megjelenített CT képe alkalmas volt arra, hogy az adott magmintát egyértelműen beazonosítsam. A csupán képmegjelenítő eljárások azonban, nem alkalmasak a 0,5 cm-nél kisebb üledékes szerkezetek egyértelmű azonosítására. Ehhez, mindenképpen térképező eljárásokat kell igénybe venni, amelyek alkalmasak arra, hogy a mérési értékeket adatvesztés nélkül jelenítsék meg.

A törmelékes üledékes kőzetek mérései során előállított kép, valamint adat alkalmas a különböző üledékes szerkezetek, a szöveti változások azonosítására, és ezek a változások tükröződnek a mért adatok változásaiban. A kőzet szövet változásai megváltoztatják az üledék, illetve kőzet térfogati sűrűségét, szemcseméretét, kémiai összetételét, porozitását, víztartalmát, ezáltal a röntgensugárzás elnyelődését.

A különböző üledék, illetve kőzet típusok numerikusan azonosíthatóak és egymástól megkülönböztethetőek, ha megfelelő mennyiségű adat áll rendelkezésre. Egyetlen térfogati

cellára vonatkozó HE érték túlságosan kevés ahhoz, hogy numerikusan felismerhető legyen. Az alapvető törmelékes üledékes közettípusokhoz tartozó HE értékek konfidencia intervallumai között szignifikáns a különbség, azonos üledékképződési környezetet, és diagenizáltsági fokot feltételezve, bár bizonyos mértékű átfedések előfordulnak. E miatt célszerűbb, ha az adatok várható értékét, adott esetekben mediánját, illetve M-becsítő értékét hasonlítjuk össze. Egy adott üledéktípushoz tartozó HE értékek valószínűségi eloszlása a határértékek tekintetében különbözik egy másiktól, ez azonban nem megfordítható állítás: két különböző valószínűségi eloszlás, nem feltétlenül jelent két különböző üledéktípust.

Az üledékek numerikus megkülönböztethetőségének alapvető feltétele, hogy a különböző üledéktípusokra megállapított mérési értékek várható értékei között statisztikailag szignifikáns legyen a különbség. Ugyanakkor, szem előtt kell tartani, hogy a környezeti változások, a diagenetikus folyamatok a kőzetek fizikai, kémiai tulajdonságait oly mértékben befolyásolhatják, hogy a kvantitatív elemzésbe csakis a jobbra azonos földtörténeti múlttal, fejlődéstörténettel rendelkező üledékeket vonhatjuk be, és hasonlíthatjuk egymáshoz.

A megkülönböztethetőség nagymértékben függ a minta és környezetének fejlődéstörténetétől. A geológiai értelemben vett idősebb üledékek magasabb diagenizáltsági fokon állnak, ezáltal a sugárzásgyengítési együttthatójuk magasabb, mint a fiatalabb üledékek esetében. A környezeti változások szöveti változásokat idéznek elő. A legfontosabb szöveti paraméter, amely a változásokat tükrözi, a szemcseméret. A szemcsenagyság változásával, megváltozik az üledék sugárzásgyengítési tulajdonsága. A kisebb szemcseméretű üledékek magasabb, míg a nagyobb szemcseméretűek, kisebb sugárzásgyengítési együttthatóval jellemezhetőek, ugyanolyan korú üledékek esetében.

A Laplace operátor alkalmazásával elkészített gridek jó egyezést mutatnak a kőzetek szerkezeti képével, az üledékes szerkezetek belső heterogenitásával. A CT mérési eredmények numerikus feldolgozása megfelelően értelmezhetővé teszi a gyengeségi zónákat, valamint potenciális áramlási pályákat. A gyógyászatban használatos röntgen komputer tomográf mérési tartományában, a potenciális áramlási pályák a kőzetek gyengeségi zónáihoz kapcsolódnak. Ebből következően nem zárható ki az a feltételezés, hogy a CT mérési tartományán kívül is, az áramlások ezekhez a gyengeségi zónákhoz, valamint ezek térbeli rendszeréhez kapcsolódnak. Az elvégzett számítások alapján, következtetések vonhatóak le eltérő üledéktípusok érintkezési felületein, valamint a különböző üledékes szerkezetek környezetében lejátszódó áramlási pályák kijelölését illetően.

A makroszkóposan homogén üledékek CT mérési adatai felhasználhatóak üledékképződési mikro-ciklusok kimutatására. Egy homogén üledéksor függőleges metszete

nem más, mint a geológiai idő megjelenése. Amennyiben az üledéksor mérési adatait egyenközü skálán ábrázoljuk, egy idősort kapunk. A hagyományos idősor elemzési eljárások alkalmazásával, az üledékképződés ciklikus természete feltárható.

Jelentős érdeme a módszernek, hogy vizuális kapcsolatot teremt a minta és a matematika között. Alkalmas továbbá rövid geológiai események azonosítására, valamint pontosabb relatív koradatok szolgáltatására.

Az alapkutatás hosszabb távú céljai között szerepel, egy olyan adatbázis létrehozása, amely a feldolgozott üledéktípusok CT mérési eredményinek numerikus feldolgozásából áll össze.

Reprezentatív elemi térfogat meghatározására irányuló jövőbeni kutatások középpontjában az áll, hogy meghatározzuk, mekkora az a legkisebb térfogat egység, amely elegendő mennyiségű adatot képes szolgáltatni ahhoz, hogy az üledéktípus meghatározása lehetővé váljon.

7 Összefoglalás

Az SzTE Földtani és Őslénytani Tanszékén folyó törmelékes üledékes kőzetekkel foglalkozó alapkutató feladata, a törmelékes üledékes kőzetek, üledékes szerkezeti jegyek numerikus feldolgozása, valamint az üledékes kőzetek szöveti és szerkezeti tulajdonságainak leírása. Ehhez az eszköz a kapcsolat az üledékes kőzetek szerkezeti, szöveti tulajdonságai és a CT által alkotott kép/adat között.

Az alapkutatáshoz kapcsolódóan, az elmúlt négy év kutatómunkája során azt tűztem ki célul, hogy adatokat gyűjtsék össze, majd ezeket az adatokat rendszerbe szedve, válaszokat adjak az alábbi kérdésekre: (1) A közetsűrűsége alapján mérési eredményekből előállított képen azonosíthatóak-e az üledékes szerkezetek? (2) A törmelékes üledékes kőzetek szöveti változásai, tükröződnek-e a mért értékek változásaiban? (3) Lehet-e a különböző közettípusokat numerikusan azonosítani? (4) Az azonosíthatóság, milyen mértékben függ egy adott kőzetminta, valamint a mintát magába foglaló üledékes környezet geológiai fejlődéstörténetétől? (5) A mérési adatokat felhasználva, ki lehet-e mutatni gyengeségi zónákat, valamint potenciális áramlási pályákat? (6) Vajon a CT által biztosított, makroszkóposan homogén törmelékes üledékes kőzetekből származó mérési adatok, alkalmasak-e üledékképződési mikro-ciklusok kimutatására?

A Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetével fennálló együttműködés keretén belül, az Intézet által biztosított Siemens Somatom Plus 40 készüléken folytak kőzetminta mérések. A mérések alapvetően két típusra oszthatók úgymint, a magminta hossztengegyével párhuzamos, illetve arra merőleges mérések. A hossztengegyével párhuzamos metszetek megjelenítése nem igényel különösebb eljárást, és a szöveti, szerkezeti változékonyság rögtön láthatóvá válik, ugyanakkor nagyobb a valószínűsége a zajos mérésnek ebben az esetben. A másik esetben az egyedi szeleteken nem követhető nyomon a szöveti változás, viszont kisebb vastagsága miatt kevésbé valószínű a mérési hiba bekövetkezése.

A mérések megkezdése előtt tisztázni kellett, hogy a röntgen komputer tomográf mit mér, mi befolyásolja a mérést, és hogyan lehet a mérési értékeket úgy megjeleníteni, hogy a kapott képek a valósághoz minél inkább hűek maradjanak, minimális legyen az adatvesztés.

Előzetesen meg kellett határozni, milyen jellegű matematikai statisztikai eszközöket kell igénybe venni annak érdekében, hogy kutatási célként kitűzött kérdésekre érdemi válaszokat kapjunk.

A magminták kiválasztásának szempontjai a célként kitűzött kérdések voltak. Olyan jellegű magmintákat kellett kiválasztani, amelyek jellegzetesek, az adott üledékes

szerkezeteket megfelelően képviselik, makroszkóposan egyértelműen azonosíthatóak, valamint bennük szöveti változások mutathatóak ki. A mintákat az SzTE Földtani és Őslénytani Tanszékének mintagyűjteményéből, illetve a MOL Rt. szolnoki magraktárából választottam ki.

A mérések elkészülte után, az elsődleges feladat az adatok képi megjelenítése. Lehetőség van az alapértelmezett kép fájlok közvetlen megjelenítésére az OSIRIS nevű program segítségével. Ez az eljárás azonban nem képes minden esetben a megfelelő felbontást biztosítani, így grid megjelenítő térképező programot kellett alkalmaznom. Ebben az esetben a vizualizációt úgy kell kidolgozni, hogy a lehetséges legkevesebb adatvesztéssel járjon a folyamat. Ehhez a „Nearest neighbor” módszer a legmegfelelőbb, amely interpolációmentes eljárás. Alkalmazásakor a gridvonalak geometriájának definiálásakor a vonalak közötti távolságot x és y irányban is 1-nek vesszük, ezáltal elkerülhető az adatvesztés. Az eljárással a tényleges mérési értékek vizualizációja valósul meg, ezáltal a kép felbontása jobb hatásfokú lesz.

A mérés során előfordulhatnak visszaverődésből, kioltódásból adódó megjelenítési hibák. Ilyen esetekben a kép többé-kevésbé értelmezhető marad, azonban a későbbi adatfeldolgozás teljes mértékben hibás eredményt ad, ugyanis a hiba következtében a valóságosnál jóval kisebb mérési értékek kerülnek rögzítésre. Ennek kiküszöbölésére lett kidolgozva egy olyan adatkezelő eljárás, amelynek során a minta hossztengetelyére merőleges egyedi szeletekből áll össze a hossztengetellyel párhuzamos metszet kép, amely alig vagy egyáltalán nem tartalmaz hibás adatokat.

Törmelékes üledékes kőzetek esetében a sugárzás gyengítése függ a minta szemcseméretétől, ásványos összetételétől, a cement minőségétől és mennyiségétől, a kompaktáltság mértékétől, a diagenizáltság fokától, valamint a kőzet korától.

Vizsgálataim során elsősorban szénhidrogén kutató fúrásokból származó magmintákat dolgoztam fel. A szakértők által korábban, az alsó-pannóniai korú homokkővek ásványos összetételét meghatározó elemzések, valamint a Hounsfield Egységnek (HE) elnevezett sugárzásgyengítési együtthatók közötti számszerű kapcsolat igen jó egyezést mutat. A korábbi elemzések az ásványok közül a kvarc dominanciáját mutatták ki, amelynek a sűrűsége $2,65 \text{ gr/cm}^3$. Az általam elvégzett számítások ehhez az értékhez igen közeli, statisztikai hibahatár alatti értékeket eredményeztek, amely arra utal, hogy a nagymennyiségű kvarc jelentését a CT mérések is igazolták.

A diagenetikus folyamatok közül, a kompaktáció és a cementáció jelentős térfogati sűrűség növelő hatású. Ennek következtében a magasabb diagenizáltsági fokon lévő üledék

sugárzásgyengítési együtthatója nagyobb lesz, mint a diagenézis korai szakaszában lévő, ugyanolyan szemcseméretű üledéké.

Az áramló közegben létrejövő lerakódási alakzatok szövete és szerkezete tükrözi az áramló közeg energiáját, a meder alakját, a leülepedés sebességét, az üledék-utánpótlás mértékét. A külső és belső elsődleges üledékszerkezetek makroszkóposan jól meghatározható tulajdonságokkal bírnak. Az orvosi CT felbontásából adódóan ($0.3 \times 0.3 \times 2.0$ mm), lehetőség van a kapott sűrűségadatokból a legkisebb üledékszerkezetek felépítésének megjelenítésére. A CT mérések szempontjából igen fontos tényező a szemcseméret. Ezen a tapasztalati tényen alapszik az a megállapítás, hogy a közel azonos korú és felhalmozódási történettel rendelkező kőzetek közül a kisebb szemcseméretű a nagyobb térfogati sűrűségű.

A HE mérési értékek képesek visszaadni a makroszkópos szöveti változékonyságot, valamint a makroszkóposan homogén egységek kisléptékű heterogenitását. A felbontás lehetővé teszi a hullámfodrokat, dűnéket felépítő réteglemezek helyzetének beazonosítását, és az egyes réteglemezek belső felépítésének megjelenítését.

A CT méréssel előállított kép, a vizsgált tárgy sűrűség változásait igen szemléletesen adja vissza. Az adatokból előállított grid kontúr, ugyanakkor felbontásának köszönhetően részletgazdagabb információt biztosít. A kontúrok alkalmas megválasztásával, láttatni lehet a kívánt szerkezeti tulajdonságokat, változásokat. A szövet kisléptékű heterogenitási irányait vázoló anizotrópia képek alapján arra lehet következtetni, hogy a változások irányai is visszavezethetők a szerkezeti jellegzetességekre.

A különböző üledék, illetve kőzet-típusok numerikusan azonosíthatóak és egymástól megkülönböztethetők. Az alapvető törmelékes üledékes kőzettípusokhoz tartozó HE értékek konfidencia intervallumai között szignifikáns a különbség, azonos üledékképződési környezetet, és diaganizáltsági fokot feltételezve, bár bizonyos mértékű átfedések előfordulhatnak. E miatt célszerűbb, ha az adatok várható értékét, adott esetekben mediánját, illetve M-becslő értékét hasonlítjuk össze. Egy adott üledéktípushoz tartozó számértékek valószínűségi eloszlása a határértékek tekintetében különbözik egy másiktól, ez azonban nem megfordítható állítás: két különböző valószínűségi eloszlás, nem feltétlenül jelent két különböző üledéktípust.

Az üledékek numerikus megkülönböztethetőségének alapvető feltétele, hogy a különböző üledéktípusokra megállapított mérési értékek várható értékei között statisztikailag szignifikáns legyen a különbség. Ugyanakkor, szem előtt kell tartani, hogy a környezeti változások, a diagenetikus folyamatok a kőzetek fizikai, kémiai tulajdonságait oly mértékben

befolyásolhatják, hogy a kvantitatív elemzésbe csakis a jobbra azonos földtörténeti múlttal, fejlődéstörténettel rendelkező üledékeket vonhatjuk be, és hasonlíthatjuk egymáshoz.

A megkülönböztethetőség nagymértékben függ a minta és környezetének fejlődéstörténetétől. A geológiai értelemben vett idősebb üledékek magasabb diagenizáltsági fokon állnak, ezáltal a sugárzásgyengítési együtthatójuk magasabb, mint a fiatalabb üledékek esetében. A környezeti változások szöveti változásokat idéznek elő. A legfontosabb szöveti paraméter, amely a változásokat tükrözi, a szemcseméret. A szemcsenagyság változásával, megváltozik az üledék sugárzásgyengítési tulajdonsága. A kisebb szemcseméretű üledékek magasabb, míg a nagyobb szemcseméretűek, kisebb sugárzásgyengítési együtthatóval jellemezhetőek, ugyanolyan korú üledékek esetében.

Ki kell emelni, hogy az egyes térfogati cellákra vonatkozó HE értékek alapján, nem lehetséges az üledéktípusokat numerikusan felismerni. Megfelelő mennyiségű adatnak kell rendelkezésre állnia ahhoz, hogy az üledéktípus numerikusan felismerhető legyen. A jövőbeni kutatások egyik lehetséges irányát képviseli a reprezentatív elemi térfogatra vonatkozó kutatás, amely azt hivatott kidolgozni, mekkora az a legkisebb térfogat egység, amelyből bizonyosan meg lehet állapítani az üledéktípust.

A Laplace operátor alkalmazásával elkészített gridek jó egyezést mutatnak a kőzetek szerkezeti képével, az üledékes szerkezetek belső heterogenitásával. A CT mérési eredmények numerikus feldolgozása megfelelően értelmezhetővé teszi a potenciális áramlási pályákat. A gyógyászatban használatos röntgen komputer tomográf mérési tartományában, a potenciális áramlási pályák a kőzetek gyengeségi zónáihoz kapcsolódnak. Ebből következően nem zárható ki az a feltételezés, hogy a CT mérési tartományán kívül is, az áramlások ezekhez a gyengeségi zónákhoz, valamint ezek térbeli rendszeréhez kapcsolódnak. Az elvégzett számítások alapján – természetesen megfelelő műszeres vizsgálatok elvégzése után –, következtetések vonhatóak le eltérő üledéktípusok érintkezési felületein, valamint a különböző üledékes szerkezetek környezetében lejátszódó áramlási pályák kijelölését illetően.

A makroszkóposan homogén üledékek CT mérési adatai felhasználhatóak üledékképződési mikro-ciklusok kimutatására. Egy homogén üledéksor függőleges metszete nem más, mint a geológiai idő megjelenése. Amennyiben az üledéksor mérési adatait egyenközű skálán ábrázoljuk, egy idősort kapunk. A hagyományos idősor elemzési eljárások alkalmazásával, az üledékképződés ciklikus természete feltárható.

Jelentős érdeme a módszernek, hogy vizuális kapcsolatot teremt a minta és a matematika között. Alkalmas továbbá rövid geológiai események azonosítására, valamint pontosabb relatív koradatok szolgáltatására.

Az alapkutatás hosszabb távú céljai között szerepel, egy olyan adatbázis létrehozása, amely a feldolgozott üledéktípusok CT mérési eredményinek numerikus feldolgozásából áll össze.

8 Summary

Department of Geology and Paleontology, University of Szeged is the home of basic research of clastic sedimentary rocks. The task of this research is the numeric processing and defining the structural characteristics of clastic sediments and sedimentary structures. The tool for this is the connection between the structural and textural characteristics of sedimentary rocks, and the CT generated image/data.

Connecting to this project the aim of my research was to collect and systematize all the possible data, and give answer to the following questions: (1) Whether the sedimentary structures can be identified on the images obtained from the density based CT measurements? How can the basic clastic rock types are recognized on the bases of Hounsfield Units (HU) by using statistical methods (hypothesis tests, distribution fitting, and confidence intervals). (2) Whether the alterations of measured data mirror the textural characteristics of clastic sediments. (3) Whether the numerical pattern of HU obtained from small scale analyzing of some particular sedimentary structures coincide to the textural expectations of those sedimentary structures. (4) How does this recognition depend on depositional history of samples tested? (5) Is it possible to reveal zones of weakness, flow surfaces and paths based on data obtained from CT measurements, only? (6) Are the HU values provided by the CT measurements capable of evincing micro-cycles belonging to a particular depositional history?

CT measures have done on a Siemens Somatom Plus 40 instrument provided by the Department of Diagnostic Imaging and Oncoradiology, University of Kaposvar. There are two kinds of measuring methods, one is parallel to the longitudinal axis of the core sample, and the other is perpendicular to it. The first method provides profiles that are easy to display, the visualization of textural and structural inhomogeneity does not require additional procedures, and the probability of noisy output is negligible. The latter provides perpendicular individual slices, which are not capable to identify textural characteristics, in one hand. On the other hand, these slices contain less noisy data.

First, one should define all the effects that have an influence on the measuring process, and then, find the most appropriate displaying of data to avoid losing valuable information by interpolating, by this means generating realistic grids. In order to get all the adequate answers, we should work out mathematical-statistical steps prior to data processing.

Questions mentioned in the second paragraph were the standpoints of picking the right core samples that have characteristic and unanimously identifiable textural, structural

features, by the naked eye. I selected core samples from the collection of Department of Geology and Paleontology, University of Szeged, and Hungarian oil and Gas Company (MOL Group).

After CT measures completed, the primary task was to display data without losing information. Several softwares can handle default image files like OSIRIS, free software made by University of Geneva. In some cases the resolution of OSIRIS is poor, thus grid contour displaying softwares are required. To avoid data-loss, I used “Nearest neighbor” method to calculate grid contours, and define grid spacing as one in both X and Y direction. Thus, visualization of the real measuring data and the image obtained has a better efficiency.

Reflection and extinction can create “error” in displaying. This error is an ‘X’ shape on the image, since much smaller values are detected than the real ones, which makes the data interpretation difficult and the results false. To eliminate this error, I have applied a database handler system that generates a profile parallel to the longitudinal axis obtained from the individual slices perpendicular to the longitudinal axis.

Attenuation of X-ray depends on grain size, mineral composition, cement quality and quantity, degree of compaction and diagenesis, and the age of rock in the field of sedimentary rocks.

I have analyzed core samples coming from hydrocarbon exploratory boreholes. There is significant numerical connection between the results of previously completed mineral composition analyses of sandstones with Lower-Pannonian age, and the attenuation coefficients called Hounsfield Units. The dominant mineral is quartz whose density is 2.65 gr/cm^3 . CTN (CT Number) calculations resulted in values under the statistical limit of error, thus numerical HU analysis have verified the presence of the dominant mineral.

Compaction and cementation are major factors of increasing bulk density. Consequently, the higher is the degree of diagenesis of the sediment, the higher is the attenuation coefficient.

Texture and fabric of sedimentary structures mirror the power of agent, the shape of channel, the settling velocity, and the rate of sediment supply. One can easily define the characteristics of external and internal primary structures with unaided eye. Thank to the resolution of medical CT displaying the inner heterogeneity of the smallest ones is without difficulty. Grain size has an important effect on attenuation coefficient. This assumption is based on empirical facts. The bigger is the grain size of sediment or rock, the smaller is the attenuation coefficient, taking age and geological history into consideration.

HU values can interpret macroscopic textural variability and small-scale heterogeneity of homogeneous units fairly well. Due to high resolution, one can easily identify the position of laminae in sand ripples or dunes, and inner heterogeneity of an individual lamina.

Interpretation of an image generated from data obtained by CT measurements is clear, but grid contours give detailed information of the sample due to better resolution. Precise choosing the contours makes the structural properties visible. The anisotropy of small-scale heterogeneity of texture coincides with the orientation of physical properties derived from structural characteristics.

Basic clastic sediments and sedimentary rocks are numerically identifiable and clearly distinguishable from each other. However, confidence intervals and distribution-types of HU values belonging to basic rock types are significantly different, supposing similar depositional environment and degree of diagenesis, some overlapping might occur. Consequently, it is reasonable to compare expected values, medians, or M-estimators of HU data. The probability distribution of figures belonging to a particular rock type will differ within their limits from those belonging to another one. Obviously, this is not reversible statement: two different probability distributions will not necessarily express different rock types.

It is essential to be significant difference between expected values of HU in order to numerically distinguishable the basic rock types from each other. One should keep in mind that changes in the conditions of environment could influence diagenetic processes, physical and chemical properties, and the HU values, consequently. Thus, quantitative comparisons can involve samples from nearly similar depositional environments with slight differences in the degree of diagenesis.

Distinctiveness considerably depends on the geologic history of the environment and the sample. Older sediments are at higher degree of diagenesis than the younger ones, therefore their attenuation coefficients are higher, as well.

Grid contours generated with the Laplacian operator coincide with the structural characteristics and inner heterogeneity of sedimentary rocks. Potential flow surfaces and paths represent the zones of weakness of sedimentary rocks within the range of resolution of medical CT. Consequently, we cannot reject the assumption that these flow surfaces and paths linked with zones of weakness and its three-dimension system outside of this range. Conclusion can be made concerning to indicating the potential flow surfaces relying on the displayed grid contours based on the calculations with the Laplacian operator.

HU data provided by CT measurements of macro-scale homogeneous sediments are capable for evincing depositional micro-cycles. Profile of a sequence represents the geologic time. Plotting HU data on an equidistant scale, we get a time-sequence. Then time-sequence analysis can reveal the cycling character of the deposition.

The method generates visual contact between textural, structural characteristics of sedimentary rocks and mathematics. In addition, it is capable to identify short geologic events, and provide precise data of relative age.

Long-term aim of this basic research is the follows: establishing a database consists of numerical processed data of HU of basic rock types.

9 Köszönetnyilvánítás

Köszönöm a jelentős szakmai segítséget Földes Tamásnak (KE, Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet), akinek a biztatása nélkül nem indultam volna el ezzel a témával.

Köszönöm, hogy a tanszékén zavartalan munkát biztosított számomra, és esélyt adott arra, hogy ez a dolgozat elkészülhessen dr. Sümegi Pál, tanszékvezető egyetemi docensnek (SzTE, földtani és Őslénytani Tanszék).

Köszönöm a mérések megszervezését, zavartalan lebonyolítását dr. Bogner Péter, igazgatóhelyettesnek (KE, Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet).

Köszönöm az SzTE, Földtani és Őslénytani Tanszékének, valamint a KE, Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetének valamennyi munkatársának, dolgozójának, hogy munkájukkal segítették a kutatásomat, és a dolgozat elkészülését.

Köszönöm a MOL Rt.-nek, hogy az általuk elvégzett mérési adatokat rendelkezésemre bocsátották, és azokat a kutatásomban felhasználhattam.

Köszönöm Sebők Szilviának, hogy munkájával, amely a témában elkészített szakdolgozat, és a hozzá kapcsolódó önálló kutatás volt, hozzájárult a dolgozatom elkészüléséhez.

10 Felhasznált irodalom

- Alvestad, J., Gilje, E., Hove, A.O., Langeland, O., Maldal, T. és Schilling, B.E.R., 1992. Coreflood experiments with surfactant system for IOR: computer tomography studies and numerical modeling. *J. Pet. Sci. Eng.*, 7, pp. 155-171.
- Amos, C.L., Sutherland, T.F., Radzjewski, B. és Doucette, M., 1996. A rapid technique to determine bulk density of fine-grained sediments by X-ray computed tomography. *J. Sediment. Res.* 66, pp. 1023-1024.
- Arnold, J.R., Testa, J.P.J., Friedman, P.J. és Kambic, G.X., 1982. Computed tomography analysis of meteorite inclusions. *Science* 219, pp. 383-384.
- Axelson, W., 1983. The use of X-ray radiographic methods in studying sedimentary properties and rates of sediment accumulation. *Hydrobiologia* 103, pp. 65-69.
- Aylmore, L.A.G., 1993. Use of computer assisted tomography in studying water movement around plant roots. *Adv. Agron.* 49, pp. 1-54.
- Bergosh, J.L., Marks, T.R. és Mitkus, A.F., 1985. New core analysis techniques for naturally fractured reservoir. *Soc. Pet. Eng.* 13653, pp. 599-610.
- Bérczi, I., 1970. Sedimentological investigation of the coarse-grained clastic sequence of the Algyó hydrocarbon-holding structure. *Acta Geologica Hungarica* 14, pp. 287-300.
- Bérczi, I., 1972. Sedimentological investigation of pre-Pannonian sedimentary formations in the Szeged-basin, SE-Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 16, pp. 229-250.
- Bérczi, I. és Viczián, I., 1973. Üledékes közettani vizsgálatok a dél-alföldi neogénben. *Földtani Közlöny* 103, pp. 319-339.
- Blauch, M.E., Venditto, J.J., Rothman, E. és Hyde, P., 1992. Core analysis and CT imaging improve shale completions. *Oil and Gas J.* 1992 XI, pp. 45-49.

- Boespflug, X., Long, B. és Occhietti, S., 1995. CAT-scan in marine stratigraphy: a quantitative approach. *Marine Geology* 122, pp. 281-301.
- Bogner P., Földes T., Závoda F., Repa I., 2003. A CT és MR vizsgálatok lehetőségei a szénhidrogén-kutatásban, *Magyar Radiológia*, pp. 231-237.
- Bosscher, H., 1993. Computerized tomography and skeletal density of coral skeleton. *Coral Reef* 12, pp. 97-103.
- Bouma, A.H., 1964. Notes on X-ray interpretation of marine sediments. *Marine Geology* 2, pp. 278-309.
- Calvert, S.E. és Veevers, J.J., 1962. Minor structures of unconsolidated marine sediments revealed by X-radiography. *Sedimentology* 1, pp. 287-295.
- Champanhet, J.M., Durand, J., Long, B. és Labeyrie, B., 1989. Apport du scanner à la définition des réservoirs non consolidés. *Bull. Cent. Rech.Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 13, pp. 167-174.
- Cormack, A.M., 1963. Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *J. Appl. Phys.* 34, pp. 2722-2727.
- Curry, T.S., Dowdey, J.E. és Murry, R.C. Jr., 1990. Christensen's Physics of Diagnostic Radiology, 4th edition Lea and Febiger, Philadelphia
- Dixon, M., 1991. Benefits of high resolution computed tomography in core analysis. *SCA Conf. Pap.* 9127, pp. 1-8.
- Dugmore, A.J. és Newton, A.J., 1992. Thin tephra layers in peat revealed by X-radiography. *J. Archeol. Sci.* 19, pp. 163-170.
- Duliu, O.G., Tufan, M. és Szobotka, S., 1997. Computer axial tomography investigations of polymetallic nodules. *Marine Geology* 138, pp. 303-311.
- Duliu, O.G. és Mihăilescu, N.G., 1998. Radiographic investigation of Danube River and Danube Delta sedimentary cores. *Acta Geologica Hungarica* 41, pp. 121-138.

- Duliu, O.G., 1999. Computer axial tomography in geosciences: an overview. *Eart-Science Reviews* 48, pp. 265-281.
- Edmondson, W.M.K. és Allison, D.E., 1970. recording densitometry of X-radiographs for the study of cryptic laminations int he sediment of lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 15, pp. 138-144.
- Földes, T., 1993. New interpretation methods of Diplog for recognition the internal structure of thereservoir. *OMBKE Conference*, Tihany, Hungary
- Földes, T., Kiss B., Árgyelán G., Bogner, P., Repa, I., 2000. Application of medical computer tomograph measurements in 3D reservoir characterization. *EAGE SAID Conference*, Paris, France
- Geiger, J., 2005. A CT vizsgálatok és a laboratóriumi közetfizikai vizsgálatok eredményeinek numerikus kiértékelése. Mecsekérc Rt.
- Geiger, J., Hunyadfalvi, Z. és Bogner, P., 2006. Analysis of small-scale heterogeneity in clastic rocks by using computerized X-ray tomogrpahy (CT). *Journal of Engineering Geology* In print.
- Gilliland, R.E. és Coles, M.E., 1989. Use of CT scanning int he investigation of damage to unconsolidated cores. *SCA Conf. Pap.* 8902, p. 13.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 1993. Digital image processing. Addison Wesley, Reading
- Hainsworth, J.M. és Aylmore, L.A.G., 1983. The use of computer assisted tomography to determine the spatial distribution of soil water contents. *Aust. J. Soil Res.* 21, pp. 435-443.
- Hamblin, W.K., 1962. X-radiography in the study of structures in homogeneous sediments. *J. Sediment. Petrol.* 32, pp. 201-210.
- Hicks, P.J., Deans, H.A. és Narayanan, K.R., 1992. Distribution of residual oil in heterogeneous carbonate cores using X-ray CT. *Soc. Pet. Eng.* pp. 235-240.

- Holler, P. és Kögler, F.C., 1990. Computer tomography: a nondestructive, high resolution technique for investigation of sedimentary structures. *Marine Geology* 91, pp. 263-266.
- Honarpour, M. M., Cromwell, V., Hatton, D., Satchwell, R., 1985. Reservoir Rock Descriptions Using Computed Tomography (CT). *SPE Paper 14272* presented at the 60th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers held in Las Vegas, Sep. 22-25.
- Hounsfield. G.N., 1972. A method and an apparatus for examination of a body by radiation such as X-or gamma radiation. *British Patent* no. 1,283,915, London
- Howard, J.D., Mayou, T.V. és Heard, R.W., 1977. Biogenic sedimentary structure formed by ray. *J. Sediment.Petrol.* 47, pp. 339-346.
- Huang, T.C. és Stanley D.J., 1972. Western Alboran sea sediment dispersal, pouncing and reversal of currents. In: Stanley, D.J. (Ed.), *The Mediterranean Sea*. Dowdeen, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pennsylvania
- Hunt, P.K., Eugier, P. és Bajsarowicz, C., 1988. Computed tomography as a core analysis tool: applications, instrument evaluation, and image improvement techniques. *Soc. Pet. Eng.* pp. 1203-1210.
- Kantzas, A., Marentette, D. és Jha, K.N., 1992. Computer-assisted tomography: from qualitative visualization to quantitative core analysis. *J. Pet. Technol.* 31, pp. 48-56.
- Kawamura, T., 1990. Nondestructive, three dimensional density measurements of ice core samples by X-ray computed tomography. *J. Geophys. Res.* 95, pp. 12407-12412.
- Keeling, G., Maldonado, A. és Stanley D.J., 1979. Salt tectonics and basement fractures. Key control of recent sediment distribution on the Balearic Rise. *Western Mediterranean* – Smithsonian institution Press, Washington, 23-28.

- Kenter, J.A.M., 1989. Applications of computerized tomography in sedimentology. *Mar. Geotechnol.* 8, pp. 201-211.
- Knoll, G.F., 1989. Radiation detection and measurement. Wiley, New York
- Krinitzki, E.L., 1970. Radiography in the Earth and Soil Mechanics. Plenum, New York
- Matheron, G., 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Paris School of Mines publications.
- MacAllister, D.J., Miller, K.C., Graham, S.K. és Yang, C.T., 1990. Application of X-ray CT scanning to the determination of gas-water relative permeabilities. *Soc. Pet. Eng.* 20494, pp. 255-267.
- Mettern, 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, pp. 203-228.
- Normark, W.R., 1978. Fan valleys, channels, and depositional lobes on modern submarine fans: characters for recognition of sandy turbidites environments. *AAPG Bulletin* 62, pp. 912-931.
- O'Brien, N.E. és Slatt, R.M., 1990. Argillaceous Rock Atlas. Springer, New York
- Oldendorf, W.H., 1961. Isolated flying-spots detection of radiodensities discontinuities displaying the internal structural pattern of a complex object. *IRE Trans. Bio-Electron.* BME 8, pp. 68-72.
- Onoe, M., Tsatao, J.M., Nakamura, H., Kogure, J., Kawamura, H. és Yoshimatsu, M., 1983. Computed tomography for measuring annual rings of a living tree. *Proc. IEEE* 71, pp. 907-908.
- Orsi, T.H., Edwards, C.M. és Anderson, A.L., 1994. X-ray computed tomography: a nondestructive method for quantitative analysis of sediment cores. *J. Sediment. Res.* A64, pp. 690-693.

- Pettijohn, E.J., 1975. *Sedimentary Rocks* Harper, New York.
- Peyton, R.L., Haefner, B.A., Anderson, S.H. és Gantzer, C.J., 1992. Applying X-ray CT to measure micropore diameter in undisturbed soil cores. *Geoderma* 53, pp. 329-340.
- Reading, H.G. és Richards, M., 1994. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. *AAPG Bulletin* 78, pp. 792-822.
- Raynaud, S., Fabre, D., Mazerolle, F., Geraud, Y. és Latière, H.J., 1989. Analysis of the internal structure of rocks and characterization of mechanical deformation by a non-destructive method: X-ray tomodensitometry. *Tectonophysics* 159, pp. 149-159.
- Siegbahn, K., 1967. *Alpha, beta and gamma ray spectroscopy*. North-Holland, Amsterdam
- Schaoping, F., Werner, F. és Brossman, J., 1994. Computed tomography application in studying biogenetic structures in sedimentary cores. *Palaios* 9, pp. 116-119.
- Vago, R., Shai, Y., Ben-Ziou, M., Dubinski, Y. és Architrún, Y., 1994. Computerized tomographies and image analysis. A tool for examining the skeletal characteristics of reef-building organisms. *Limnol. Oceanogr.* 39, pp. 448-452.
- Verhelst, F., David, P., Fermont, W., Jegers, L. és Vervoort, A., 1996. Correlation of 3-D computerized tomographies scans and 2-D color image analysis of Westphalian coal by means of multivariate statistics. *Int. J. Coal Geol.* 29, pp. 1-21.
- Vinegar, H.J., 1986. X-ray CT and NMR imaging of rocks. *J. Petrol. Technol.* 38, pp. 257-259.
- Vinegar, H.J. és Wellington, S.L., 1986. Tomographic imaging of three-phase flow experiments. *Rev. Scient. Instr.* 58, pp. 96-107.

- Vinegar, H.J., De Wall, J. és Wellington, S.L., 1991. CT studies of brittle failure in Castlegate sandstone. *Int. J. Rock Mechan. Min. Scie. Geomechan. Abs.* 28, pp. 441-448.
- Walker, R.G., 1966. Shale grit and grindslow shales: transition from turbidite to shallow water sediments in the Upper Carboniferous of northern England. *J. Sediment. Petrol.* 36, pp. 90-114.
- Walker, R. G., 1978. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: Models for exploration for stratigraphic traps: *AAPG Bulletin*, v. 62.
- Watson, A.T. és Mudra, J., 1991. Characterization of Devonian shales with X-ray computed tomography. *SCA Conf. Pap.* 9122, pp. 1-12.
- Wellington, S.L. és Vinegar, H.J., 1987. X-ray computerized tomography. *J. Pet. Technol.* 2, pp. 885-898.
- Withjack, E.M., 1987. Computed tomography for rock-property determination and fluid-flow visualization. *Soc. Pet. Eng.* 16951, pp. 183-196.
- Withjack, E.M., Graham, S.K. és Yang, C.T., 1990. Determinations of heterogeneities and miscible displacement characteristics in corefloods by CT scanning. *Soc. Pet. Eng.* 20490, pp. 231-224.