

RÖNTGEN COMPUTER TOMOGRÁF (CT) MÉRÉSEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A KÖZETVIZSGÁLATOKBAN

Földes Tamás

Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet, t.foldes@axelero.hu

Összefoglalás: A cikk célja a kőzetek CT-vel (Computer Tomográfiával) való vizsgálatának lehetőségének bemutatása. Előbb a gyógyászatban már ismert CT főbb alkotóelemeit, majd a kőzeteken végezhető méréseket mutatjuk be.

Kulcsszavak: CT, effektív porozitás, roncsolásmentes vizsgálatok

1. A CT berendezés felépítése és működése

A CT berendezés az alábbi főbb részekből áll:

- Gantry
- Vizsgáló asztal
- Nagyfeszültségű generátor
- Vezérlőpult
- Számítógép

A számítógép két főbb részre osztható:

- Imager
- Host

A **host** computer feladata a működéshez szükséges programok futtatása (operációs rendszer, felhasználói programok, stb).

Az **imager** dolgozza fel a gantryből érkező jeleket. Elvégzi a szükséges korrekciókat, megjeleníti a képet, és elvégzi a másodlagos feldolgozások számításait (3D rekonstrukció, rekonstrukció, nyersadatokból ismételt képmegjelenítés).

A vezérlőpult:

A kezelő innen irányítja a méréseket és utólagos feldolgozásokat. Az imager által kiszámított képek a vezérlőpult képernyőjén jelennek meg.

A nagyfeszültségű generátor:

A különböző vizsgálatoknál alkalmazott energiát biztosítja a röntgenső számára.

A vizsgáló asztal:

A vizsgálati objektum mm-es pontosságú pozicionálását végzi a vizsgálat során

A gantry:

Itt található a röntgenső és a detektorok, amelyek egymással szemben helyezkednek el, és az adatgyűjtés során 360 fokban körbefordulnak a gantryben.

A Siemens Somatom Plus S 40 CT-ben egy nagy teljesítményű két Fókuszú forgóanódú cső található. Vele szemben 768 darab Xe gáz detektor van. A detektorok jele erősítés és analóg/digitális átalakítás után szénkeféken keresztüljutnak ki a gantry forgó részéből, majd egy optocsatolón keresztül optikai kábel juttatja a jelet az imagerbe.

Az adatfeldolgozás során kapott kép minősége sok tényezőtől függ. A megjelenített kép nem valódi leképezésből adódik, mint mondjuk a hagyományos röntgen felvételnél vagy a fényképezőgépekben, hanem villamos jelekből az imager számítja ki.

A röntgen sugár, ahogy áthalad a különböző szöveteken, anyagokon, gyengül. A különböző sűrűségű anyagokban jobban, vagy kevésbé elnyelődik. Az elnyelődés függ az adott anyag tulajdonságától. Az anyag sugárelnyelési képességét a sugárelnyelési együtthatóval adhatjuk meg.

Ha az energia közlés konstans, akkor a sugár elnyelődése kizárólag annak az anyagnak a tulajdonságaitól függ, amin áthalad. Ez a gyengített sugárzás éri el a detektorokat, amelyek a sugárzás intenzitásától függő villamos jeleket hoznak létre.

Az adatgyűjtés során, ahogy a csődetektor rendszer körbefordul a vizsgált tárgy körül, több száz vagy ezer mérést végez a rendszer, és a beérkezett adatokat mátrixba rendezi. Az adatgyűjtés végén az imager kiszámítja a mátrix pontjainak az értékét, majd ezekhez az értékekhez - amelyek tulajdonképpen az adott pontok sugárelnyelési együtthatói - hozzárendel egy skálát. Ez az ún. Hounsfield skála. (Hounsfield Nobel díjat kapott a CT kifejlesztéséért) Az értékeit Hounsfield egységeknek (Hounsfield Unit , HU) nevezzük. A mátrix különböző értékeihez a Hounsfield skála megfelelő értékeit hozzárendelve és ezt értékarányosan kiszínezve egy általunk definiált skála szerint megjeleníthetővé válik egy kép.

A Hounsfield skála egy kalibrált skála ahol a vákuum értéke -1024 a víz pedig 0 . (Megjegyzés: a PC -s feldolgozó szoftver ezt a skálát feltolja $+1024$ értékkel ,vagyis ott a vákuum értéke nulla.

A CT kétféle üzemmódban működtethető. Egy adott mérésre vonatkozó utasítással vagy egy szeletet vagy pedig egy adott hosszon előzetesen kijelölt szeletsorozatot készít. A szelet vastagság az általunk használt gépeknél $1,2,3,5$ és 10 mm lehet. A szeletre vonatkozó adatmátrix mérete 512×512 .

Az adott adatmátrixra vonatkozó felbontást több tényező befolyásolja. Az általunk végzett feldolgozásokban egy adott mérési szeletben a mérési cellák mérete $0,1$ mm x $0,1$ mm x 1 mm-es nagyságrendű a legnagyobb felbontásban. Egy adott szelet elkészítésére vonatkozó ciklus (mérési) idő secundumos – $0,1$ secundumos nagyságrendű.

Tehát összefoglalva a céltárgyról ha egy szeletsorozatot készítünk akkor egy olyan 3 dimenziós rácsalót kapunk melynek celláinak méretét a kijelölt szelet (SCAN) vastagság és a felbontás határozza meg. A cellák méretének nagyságrendje általában 0.1 x 0.1 x 1 mm. A cellára vonatkozó mért adat egy Hounsfield skálára kalibrált röntgen elnyelődési érték.

A vizsgáló asztal előtolása mm pontos és pozicionálása szoftveresen programozható. Ha a céltárgy rögzítve van az asztalon az oda vissza pozicionálás nincs hatással a mérési eredményre és pontosságára.

2. A kőzetek CT-vel történő vizsgálatának alapelvei

A különböző ásványok Hounsfield értékeit meghatározták és azt találták, hogy a Hounsfield érték és a valódi sűrűség értékek között közel lineáris arányosság van. Így a CT mérési adatmátrixból „vizualizált” kép első közelítésben úgy kezelhető mint egy a szeletfelbontásának megfelelő sűrűségterkép a kőzetről. Ezen a sűrűség képen jól kirajzolódnak a kőzet különböző sajátosságai (szemcsézettség, repedezettség, szedimentológiai jegyek, kőzettani változások stb.) A szeletek egymás utáni lejátszásával feltárul előttünk a kőzetanyag belsejének jellegzetességei.

Az egyes cellák Hounsfield értékeit a fentiek szerint két tényező befolyásolja. Az egyik a cellára eső ásványszemcse (ill. szemcsék) Hounsfield értéke ill. a cellára eső pórusterben a folyadék és/vagy gáz (levegő) Hounsfield értéke. Ha a kőzetet megfelelően előkészítettük kiürítettük, kivákuumoztuk és ezután folyadékkal telítjük CT mérés alatt a cellákra eső effektív (az adott folyadékkal vagy gázzal telíthető) szabad térfogat – azaz a cellákra eső effektív porozitás – meghatározható. Mivel a feltöltés során a cellák feltöltődése az időben követhető azok belső szerkezetére (bonyolultságára) is következtetni tudunk.

A feltöltés a kőzet pórusaiban ott maradt száraz anyag lerakódások (pl: fűrési öblítő folyadékok) kimosását is eredményezi. A CT méréssel ez a folyamat is nyomon követhető.

Ha a kőzet cellára eső effektív porozitás értéke ismert, akkor ismerté válik a cellára eső ásványszemcsére ill. szemcsékre jutó Hounsfield érték is. Ennek alapján ha a kőzet durva kristályos (meghaladja a mérési cella méretét) akkor számítható, ha ennél kisebb méretű akkor pedig becsülhető az ásványos összetétel is.

További „manipulációkat” végezhetünk különböző folyadékokkal, savakkal, gélekkel olyan módon, hogy az azonos pozíciókban elvégzett méréseinket többször megismételhetjük mellyel a kőzetünk összetételére, kőzetfizikai sajátosságaira, a savazó és egyéb anyagok kölcsönhatásaira tudunk következtetni.

A CT feldolgozás hozzásegít bennünket ahhoz, hogy a kőzetanyag teljes hosszára történő minél teljesebb körű feldolgozásokat tudjunk készíteni. Ez a tevékenység feltételezi a különböző kőzetvizsgálatokat végző szakemberek és a CT mérést feldolgozó szakemberek szoros együttműködését.

3. Új lehetőségek a kőzetvizsgálatokban

- a kőzetanyag 3D nagyfelbontású roncsolásmentes digitális archiválása (laza „széteső” minták eredeti állapotban a műanyag védőtokban is lemérhetők). Egy átlag mérésnél 10^8 /m mennyiségű adat képződik. Ez a 3D mérési anyag, a maganyag „alapszelvényének” tekinthető. Bármikor, évek múlva is egy újabb interpretációs technológiával, vagy az új információk birtokában egy felülvizsgálati értékeléskor újra értelmezhető)
- 3D porozitás és effektív térfogat meghatározása (áramlásméréssel: relatív permeabilitás - kiszorítási modell). Ez azt jelenti, hogy 0,1 mm-es cellánként térképezhetők a fenti paraméterek. Azaz külön meghatározható a mátrix , üreg és repedésekre eső porozitások értéke, ezek aránya, ill. a működési mechanizmus. Tisztázhatók a makro szedimentológiai jegyekhez tartozó kőzetfizikai és effektivitási paraméterek.
- 4D vizsgálatok a szedimentológiai – genetikai értelmezésekhez. A magtengelyt, mint mélység (idő) tengelyben a szeletsorozatokat folyamatosan lejátszva egy 3D „világban” az időben utazva a szemünk előtt lejátszhatók a kőzet keletkezési körülményei (turbulenciák, kereszt-rétegződések, ősmaradványok elhelyezkedése stb.)
- 3D geometriai karakterizáció. Bármely, kb 0,1 mm-es nagyságrendnél nagyobb és a sűrűségváltozásra érzékeny texturális vagy strukturális jelenség mérete számszerűsíthető. (Üregek, repedések mérete, fraktálos mértéke, betelepülések vastagsága, dőlése, ezek térfogata meghatározható)
- 3D kőzet és ásványos összetétel karakterizáció. Mivel az egyes ásványok H.U értékei meg lettek határozva , ezért ha a kőzetalkotó ásványok mérete meghaladja a 0,1 mm-es nagyságrendet, akkor számítható, egyéb esetben pedig becsülhető a kőzet és ásványos összetétel amennyiben a porozitás számításokat elvégeztük
- 3D károsodási térfogat és karakterizáció. A CT alap és feltöltéses mérésekkel kimutathatók a mérési cella léptékében az öblítő folyadék (iszap) kirakódása a mag kőzetanyagában, azaz a károsodás mértéke.

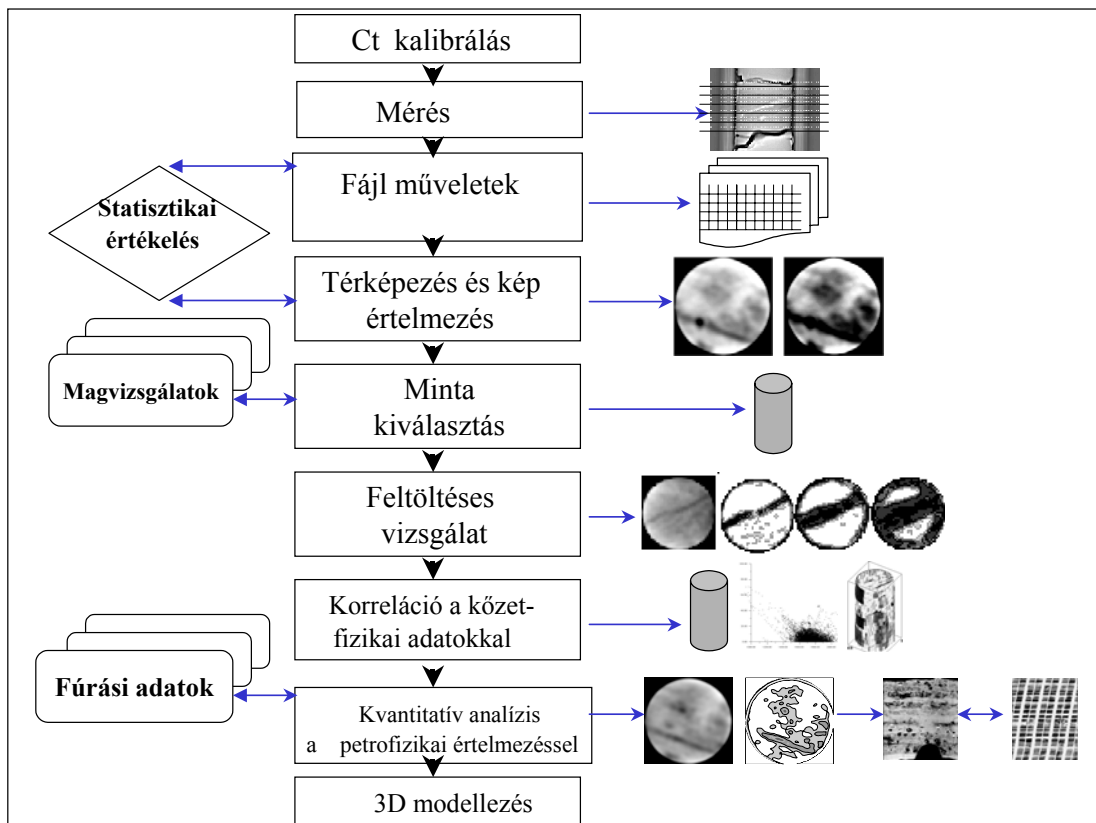
4. A mérések értelmezési típusai

Szerkezeti -geometriai sűrűség heterogenitás értelmezés, feldolgozás

- a minták mechanikai sérülései (elméleti/tényleges magtérfogat)
- szerkezeti és/vagy rétegfelületek dőlés eloszlása mélység szerint (szög, irány)
- repedések eloszlása vastagság, hossza, orientáció és fraktál dimenzió meghatározása
- egyes alkotórészek geometriai értékelése (üregek, kavicsok, intraklasztok stb)
- szemcseeloszlás vizsgálat (a felbontási korlát mellett)
- 2D képfeldolgozások: köpenykép, a magtengelyével párhuzamos metszetek stb.
- a fontosabb szerkezeti elemek 3D-s vizualizációja egyeztetett irány szerint

Litológiai - sűrűség heterogenitás értelmezés, feldolgozás

- a litológiai összetevők térfogatszázaléka a 3D-s H.U. kumulatív eloszlása alapján
- ásványos összetétel becslés (felbontástól és kőzetanyagtól függ)
- belső vertikális üledék-felhalmozódási ciklusok a H.U. értékek autokorrelációs elemzésével
- horizontális heterogenitás vizsgálat (a magtengelyére merőleges szeletek anizotrópia ellipszise)
- a fontosabb litológiai egységek sűrűség eloszlása
- a fontosabb litológiai elemek 3D-s vizualizációja egyeztetett irány szerint



1. ábra. A CT alkalmazása a szénhidrogén kutatásban (folyamatábra)

Kőzetfizikai - sűrűség heterogenitás értelmezés, feldolgozás

- a feltöltő folyadéokra vonatkozó telítettség - CT porozitás átlag és 2D-3D-s eloszlások
- felszívási profil (a telítettség változása az időben) egyeztetett felszíneken ill. alkatelemeken.
- a felszívásra vonatkozó effektív térfogat ill. térfogatok egyeztetett felszíneken ill. alkatelemeken.
- kiszorítási profil (a telítettség változása az időben - relatív permeabilitás méréshez)
- a kiszorításra vonatkozó effektív térfogat ill. térfogatok egyeztetett felszíneken ill. alkatelemeken. (relatív permeabilitás méréshez)
- kiszorítási fázis és fázistérfogat (relatív permeabilitás méréshez)

- az effektív térfogat 3D vizualizációja
- a magdarab fűrőiszap tartalmának becslése
- homokolás vizsgálat
- stresszvizsgálatok

Analóg feldolgozások (modellkísérletek CT alatt)

Integrált feldolgozások: Az alábbi folyamatára a szénhidrogénkutatói-művelési gyakorlatban alkalmazott integrált metodikát mutatja be (1. ábra).

Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatás az OTKA (K60768) támogatásával készült, melyért ezúton mondunk köszönetet.

Hivatkozások

- Földes, T.; Kiss B.; Árgyelán, G.; Bogner, P.; Repa, I.; Hips, K. (2004): Application of medical computer tomograph measurements in 3D reservoir characterization *Acta Geologica Hungarica*, **47**(1):63-73.
- Földes, T.; Árgyelán, G. (2003): „Myths and Reality”:How to Use Efficiently the Computer Tomography (CT) in Petroleum Geology In: Doha, Qatar 3rd Business Meeting of PISI WPC 2nd Regional Meeting, Conference Volume 12.
- Bogner P.; Földes T.; Závoda F.; Repa I. (2003): :A CT és MR vizsgálatok lehetőségei a szénhidrogénkutatóban , Magyar Radiológia 2003. októberi száma , 231-237.
- Földes T. (2003): A CT mérések szerepe a rezervoárgéológiai modellezésben gyakorlati példákon keresztül Nemzetközi Geofizikai– Földtani – Fluidumbányászati – Környezetvédelmi Vándorgyűlés, Konferencia és Kiállítás, Konferencia kötet. 2003. Szeptember Szolnok
- Tóth T.M., Földes T., Schubert F., Hollós C.S. Komlósi J. (2002): *Modelling of the Fractured Dorozsma Crystalline Reservoir, SE Pannonian Basin* Conference Volume of EAGE Conference. Florence.
- Dencs B.,Szepevolgyi J.,Bogner P., Földes T., Gyenis J. (2002): Computer Tomograph Measurements in Shear and Gravity Particle Flows Conference Volume, World Congress on Particle Technology, Sydney.
- 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