

PhD-értekezés tézisei

Földtudományok Doktori Iskola

**Földtudományi adatok téradatbázisba rendezése és
feldolgozása a Bábaapáti Nemzeti
Radioaktív hulladék-tároló területén**

Szujó Gábor Lajos

Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar

Pécs, 2023.

A doktori iskola neve, címe: Pécsi Tudományegyetem
Földtudományok Doktori
Iskola
7624, Pécs, Ifjúság útja 6.

A doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Geresdi István
egyetemi tanár
PTE TTK Földrajzi és
Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai
Tanszék

A doktori program neve: Természetföldrajz

A doktori program vezetője: Prof. Dr. Lóczy Dénes
egyetemi tanár
PTE TTK Földrajzi és
Földtudományi Intézet
Természet- és
Környezetföldrajzi Tanszék

Témavezető: Dr. Sebe Krisztina
egyetemi docens
PTE TTK Földrajzi és
Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai
Tanszék

1. Bevezetés

A Paksi Atomerőműből származó kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezését bányászati módszerekkel épített geológiai tárolóban tervezték. A hulladéktárolót befogadó kőzettest kijelöléséhez részletesen meg kellett vizsgálni az adott kőzet fejlődéstörténetét, a primer és szekunder izolációs potenciálját meghatározó földtani-tektonikai, kőzetmechanikai tulajdonságait, illetve össze kellett gyűjteni a hosszú távú stabilitás megítéléséhez szükséges ismereteket is. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának telephelyét a Kelet-Mecsekben, Bátaapátiban jelölték ki.

Bátaapáti és tágabb környezete mindezek miatt kiemelten fontos kutatási területté vált, ahol több természettudományi ág is szervesen részt vett az alkalmazás megítélését célzó kutatásokban. A vágathajtással egyidőben megindult a földtani-tektonikai és geotechnikai jelenségek dokumentálása is. A jövészettel egybekötve geodéziailag bemért szelvények, valamint fotogrammetriai úton felmért 3D-s modellek készültek az egyes vájvégekről.

A Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló (NRHT) kutatási, tervezési és kivitelezési fázisai során jelentős mennyiségű geometriai és szakadat keletkezett. Ezeket egymástól elszeparált állományokban kezelték.

Annak érdekében, hogy ezt a jelentős mennyiségű geometriai és leíró adatot megfelelő környezetben, hosszú távon tároljuk és megőrizzük, valamint elemezni tudjuk, egy olyan téradatbázis kialakításának igénye fogalmazódott meg, ami lehetőséget biztosít kiterjedt földtudományi adatok egységes rendszerben való tárolására, összekapcsolására szűrésekre és elemzésekre.

2. Célkitűzés

Jelen munka célja, hogy a Bátaapáti NRHT területén keletkezett földtudományi adatok tárolására, kezelésére és hatékony térinformatikai megjelenítésére adjon – elsősorban nyílt forráskódú technológiai alapon – informatikai rendszertervet és bemutassa a megvalósítás lépéseit. A NRHT példáján keresztül bemutatható, hogy hogyan lehet kiépíteni egy hosszú távon működtethető földtudományi térinformatikai rendszert, ami más földtudományi területek vagy projektek számára is hasznos lehet. További cél, hogy a kialakított térinformatikai rendszer hasznosíthatóságának

bemutatására egy geotechnikai szempontú térképezés és értékelés készüljön el.

A térinformatikai rendszernek a következő feltételeknek kell megfelelnie:

- Egy stabil, jól dokumentált téradatbázis-kezelő üzemeljen a szerveroldalon.
- A téradatbázishoz kapcsolódó webGIS alkalmazásban Structured Query Language (SQL) szűrési lehetőségek biztosítása.
- A téradatok biztonsága érdekében közvetítő csatorna kialakítása, ami támogatja az Open Geospatial Consortium (OGC) által szabványosított web alapú kapcsolatokat.
- A webGIS alkalmazás térképi nézetének egy széles funkcionalitást biztosító JavaScript könyvtár kiválasztása.
- Web alapú 3D megjelenítést biztosító JavaScript könyvtár felhasználása, amely képes ábrázolni a fotogrammetriai felmérések eredményeit (pl. pontfelhő, textúrázott 3D modell).
- A webGIS mindkét (térkép és 3D) nézetében alapvető mérőeszközök beágyazása: távolság, terület, pontszerű koordináta lekérdezés.
- A webGIS mindkét nézetében speciális elemző funkciók fejlesztése: rétegek összehasonlítása, interpoláció, geometriaszerkesztés.
- A rendszerelemek integrációja kompatibilitási problémák nélkül.

A témakör átfogó tanulmányozása az alábbi kutatói kérdések megválaszolására irányult:

K1: Hogyan lehet kialakítani egy különböző formátumú és tematikájú adatok tömegét kezelő földtudományi adatbázist?

K2: Mi a megfelelő mód egy olyan térinformatikai rendszer kialakítására, ami földtudományi adatokat képes különböző felhasználókat hosszú távon kiszolgálni?

K3: Egy nyílt forráskódú technológiákon nyugvó webGIS szoftverben hogyan szűrhetők, rendezhetők a téradatbázisban tárolt földtudományi adatok?

K4: Hogyan lehet web alapon geológiai felszínek modellezésére alkalmas funkciót létrehozni?

K5: Hogyan lehet szeizmoakusztikus mérőrendszer pozíció-meghatározásából fakadó hibákat szűrni egy térinformatikai rendszerrel?

K6: A szeizmoakusztikus adatsorok és a vágathajtás geoinformatikai elemzése mennyire korrelál a közetmechanikában használt „jövésztés által roncsolt/zavart zóna” meghatározásokkal és ez hogyan érinti a kamrák stabilitását?

3. Kutatási módszerek

A doktori tanulmányban szereplő térinformatikai rendszer tervezése és kivitelezése során a térinformatikai modellalkotás lépéseit használtam fel: elméleti modell, logikai modell, fizikai modell. Ezt a szemléletmódot egy informatikai rendszerterv létrehozásához használtam fel, melynek felépítő elemei a következők lettek:

- Moduláris felépítés és a modulok közötti kommunikáció és folyamatok bemutatása.
- Architektúra: a választott technológiák és rendszerelemek bemutatása, azok függőségeivel együtt.
- Perzisztenciáréteg ismertetése: adattárolás típusai, adatmodellek.
- A szerveroldalhoz kapcsolódó interfészek leírása, bemutatása. Egyedi fejlesztésű szoftver esetében annak felépítő elemei, kiegészítői és funkciói.
- Biztonság és jogosultsági szintek leírása.
- Üzemeltetést támogató funkciók: naplózás, monitorozás, hibaelhárítás.

A munka során számos szoftvert és programnyelvet használtam fel. Az adatok előkészítését és feldolgozását Microsoft Excel, ShapeMetriX 3D; ArcGIS for Desktop 10.5, QGIS 2.14.12 és 3.30, CloudCompare 2.6.1, Blender 2.79, Blend4Web CE 18.05.0 szoftverekkel végeztem el. Az adatelőkészítéshez és adatfeldolgozáshoz Python 2.7.12 (Python 2.7.12 dokumentáció, 2016), NumPy 1.9.3 (Numpy 1.9.3 dokumentáció, 2015) verziót használtam fel.

Az adatbázis vezérlését SQL, a szerveroldalt Hypertext Preprocessor (PHP) programnyelvvvel utasítottam. A web alapú térinformatikai szoftver HyperText Markup Language (HTML), Cascading Style Sheets (CSS) kódok mellett JavaScript programnyelven íródott.

Részletesen meg kellett vizsgálni és kiválasztani a megfelelő technológiákat, amik a térinformatikai rendszert felépítik: szervertípusok, adatbáziskezelő, web alapú GIS JavaScript könyvtár, web alapú 3D JavaScript könyvtár.

4. Az eredmények összefoglalása

A doktori tanulmány kidolgozása közben minden kutatói kérdés megválaszolásra került. Az eredmények kiértékelésével az alábbi téziseket lehetett felállítani:

- 1. Földtudományi tér adatok adatbázisba rendezéséhez elengedhetetlen, hogy a geometriai és attribútum adatok rendelkezésre állásának fényében azokat átalakítsuk térinformatikában használt formátumokba és csatoljuk a geometriákhoz a szakmai tartalmat hordozó leíró adatokat. Ezek a konverziók sok esetben adatelőkészítést igényelnek. Az adatok különböző forrásainak adatbázisba rendezéséhez egy adatfeldolgozási és adatfeltöltési terv készítése szükséges. Az általam elkészített átfogó terv számos földtudományi adatbázis létrehozásakor megoldást jelenthet.*
- 2. A hosszú távú adatelérés miatt mindenképp célszerű a legelterjedtebb formátumok és adattípusok kiválasztása, hiszen ezek könnyen konvertálhatók. A térinformatikai rendszernek több, különböző tudásszintű felhasználót is ki kell szolgálnia: fejlesztőket a folyamatos karbantartások és újabb fejlesztések miatt, írási jogú felhasználókat, akik asztali térinformatikai programokkal módosíthatják és bővíthetik az adattartalmat, valamint olvasási jogúak, akik egy egyszerűen használható web alapú térkép és 3D nézetben elérik az adatokat.*
- 3. Adatbázisba rendezett földtudományi adatok webGIS szoftverben való szűréséhez szükséges egy SQL lekérdező ablakot fejleszteni. A lekérdező ablak a GeoServer-től kérdezi le az adatok Web Feature Service SQL View kapcsolaton keresztül, ami a téradatbázis adattábláit rendezi. A szűrt geometriai és attribútum adatokat a webes felület térképén és 3D modellterében is megjelenhetnek.*

4. *A geológiai felszínek modellezéséhez web alapú kriging interpolációra van szükség. Az interpoláció eredményeinek 3D megjelenítésénél szakítani kell a hagyományos raszteres kimenettel, hiszen egy rasztert nehéz weben 3D-ben kezelni és további manuális módosításra, szerkesztésre nem ad lehetőséget. A geostatistikai számítás eredményének mátrixából kikérhetők a predikciós értékek, amik egy térbeli rácshálóba szervezve 3D mesh geometriaként megjeleníthetők. Ez a vektorgrafikus állomány alkalmas a manuális szerkesztésre a töréspontok lekérdezésével és azok térbeli pozíciójának módosításával.*

5. *A szeizmoakusztikus emissziós jelforrások és a vágatrendszer 3D modelljei alapján meghatározható, hogy egy adott időmetszékben hogyan nézett ki a vágatrendszer. A vágatmodellekbe eső akusztikus emissziós jelek a hibás pozíciójúnak ítéltelők. A hibás pozícióban észlelt pontforrások és a vágat legközelebb eső pontjából irányvektorok generálhatók, amiknek a dőlésszöge meghatározható. A dőlésszögek alapján a hibák irányultsága kimutatható, ami alapján a szeizmoakusztikus mérőhálózat szenzorainak kiosztásán lehet javítani.*

6. *Az akusztikus emissziós pontok és a vágatok 3D távolságát vizsgálva elmondható, hogy a regisztrált jelek 31%-a a tárolókamrák körüli 4 méter kiterjedésű zónában helyezkedik el és 56%-a a 7 méteres övezetben. Ezek az értékek jól korrelálnak a korábbi kutatások során numerikus modellezéssel meghatározott zónákkal. A 7 méteres kőzetövezetben a legintenzívebb szeizmoakusztikus jelek az I-K2 és I-K3-as kamrák vájvégénél tapasztalható és a négy kamra oldalfalai között. A kamrák vájvégeihez közel húzódo törésrendszer miatt lehet itt gyengébb a kőzet, míg a szomszédos oldalfalak között az üregek által megváltozott feszültségek okozza az magasabb értékeket. A jövőben ezeket a területeket kell kiemelten monitorozni, hogy a vágat esetleges geometriai torzulásait időben felismerjük.*

A témakörben megjelent publikációk jegyzéke

Folyóiratban megjelent publikációk

Szujó, G., Biber, Z., Gál, V., Szabó, B. (2023). *MaGISter-mine: A 2D and 3D web application in the service of mining industry*, International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103167> 11 p. **Q1**

Szujó, G., Szabó, B. (2023). *A Bábaapáti radioaktív hulladék-tároló kamráinak szeizmoakusztikus szempontú geoinformatikai vizsgálata*, Modern Geográfia, In Press

Egyéb helyen megjelent tanulmány

Szujó, G., Szabó, B., Kovács, B., Kovács, L. (2022). *A RADAT adatbázishoz kapcsolódó térinformatikai feldolgozás alapját képező szakértői rendszer kiépítésének rendszerterve*, RHK Kft. Irattár, RHK-N-014/22.

Konferenciaközlemények

Szujó, G., Szabó, B., Soltész E., Král F. (2021). *Web alapú térinformatikai rendszer fejlesztése a Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló példáján*, In: Molnár, Vanda Éva (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS*, Debrecen, Debreceni Egyetemi Kiadó (2021) 360 p. pp. 313-319., 7 p.

Szujó, G., Biber, Z., Gál, V., Kovács, L. (2020). *Creating a Uniquely Developed GIS Based Expert System for Geotechnical Professionals*, In: Li, C.C.; Odegaard, H.; Høien, A.H.; Macias, J. (szerk.), EUROCK 2020, Norwegian Group for Rock Mechanics, 8 p.

- Biber, Z., **Szujó, G.**, Gál, V., Kovács, L. (2020). *Analysis of joint surfaces with GIS methods*, In: Li, C.C.; Odegaard, H.; Hoiem, A.H.; Macias, J. (szerk.), EUROCK 2020, Norwegian Group for Rock Mechanics pp. 1-4., 4 p.
- Szujó, G.**, Farkas, M., Somodi, G. (2018). *Földtudományi adatokon alapuló 3D geometria szerkesztés numerikus modellezés céljából*, In: Haber, Istvan; Bogdan, Csaba; Szoke, Andras (szerk.) Proceedings of 4th International Interdisciplinary 3D Conference: Engineering Section, Pécsi Tudományegyetem, 115 p.
- Krupa, Á., Kovács, L., **Szujó, G.**, Somodi, G., Schön, R. (2018). *Comprehensive earth scientific documentation and data processing applying GIS technologies - Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses - Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, Saint-Petersburg Mining University, Oroszország*, pp. 1235-1240
- Somodi, G., Krupa, Á., Kovács, L., **Szujó, G.** (2018). *Reviewing length, density and orientation data of fractures in a granitic rock mass - Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses - Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, Saint-Petersburg Mining University, Oroszország*, pp. 439-443.