

A 4-es metró Kálvin tér és Rákóczi tér közötti szakaszának mérnökgeológiai elemzése fúrási adatsorok alapján

Bodnár Nikolett

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, bodnar.nikolett@gmail.com

Török Ákos

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, torokakos@mail.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A Kálvin téri metróállomás környéki fúrások geológiai és talajfizikai paramétereinek feldolgozását mutatja be a cikk. Az elmúlt több mint 50 évben lemélyült fúrások leírása és laboratóriumi elemzése sok esetben nem egyértelmű. Ezek pontosítására és az adatok értelmezéséhez nyújt segítséget a statisztikai elemzés, amely alapján az egyes képződmények fizikai tulajdonságai pontosíthatók. A fúrási rétegsorok azonos elvek szerinti kiértékelésével pedig lehetővé vált olyan földtani szelvények szerkesztése, amely ennek a központi helyzetű területnek a pontosabb mérnökgeológiai megismeréséhez járul hozzá.

Kulcsszavak: agyag, bentonit, plasztikus index

1 BEVEZETÉS

Már az 1900-as évek elején számos terv került kidolgozásra Budapest metróhálózatának kiépítése kapcsán. A tervek között egyezés volt abban, hogy a 4-es számú vonal kösse össze Dél-Budát (Móricz Zsigmond körtér) a városközponton keresztül Zuglóval (Bosnyák tér), úgy hogy kapcsolódjon a 2-es és a 3-as számú vonalakhoz is.

A 60-as évek közepétől a 80-as évek elejéig a metró vonalak építéséhez, az UVATERV és a METRÓBER megbízásából, az OFKFKV kivitelezésében mintegy 500 kutató magfúrás mélyült, melyből 180 darab a 4-es vonal szakaszvariációinak közelébe esett (Szlabóczky 1998), többek között az 1972-ben fúrt Z jelű fúrássorozat, amelynek egy részét jelen esetben feldolgoztuk.

Az 1970-es évek elején elővették a korábbi nagyvonalú tanulmányokat, és ezzel megkezdődött a közel 30 évet igénybe vevő „építést előkészítő” tevékenység. A pénzügyi és ütemezési előirányzatok folyamatos változása, és sok huzavona után azonban csak 2003-ban írták alá a metrószerződést, így metróberuházás csak ekkor kezdődött meg. 2006-ban a város több pontján megkezdődtek a tényleges állomásépítések, illetve az alagútépítés, amely lassacskán a végére ér.

2 FÖLDTANI HÁTTÉR

Budapest domborzatát a Duna kétfelé osztja. Nyugati oldalán hegyvidéki (Budai-hegység), Keleti oldalán síkvidéki (Pesti-síkság). A Budai-hegység területének morfológiáját a tektonikai mozgások következtében kiemelt alaphegység rögvonulatai adják. A Pesti-síkság teknős szerkezetű, keletről a Mogyoródi-dombság határolja, melyet a Duna ártéri hordalékokkal töltött fel (Schafarzik et al. 1964). A hegységperemeken az Alföld felé haladó folyók, maga a Duna is, egyre mélyebb medret vájt magának, így korábbi árterületei teraszokká alakultak át, mely kirajzolta a Pesti-síkság mai morfológiáját.

Az 1. ábra a terület általános rétegsorát ábrázolja. A térségben csak a késő-eocéntól van bizonyítható üledékképződés (Kecskeméti 1998). Ezek a képződmények diszkordánsan települnek a mezozoos rétegekre. A késő-eocénben a kelet felé haladó gyors transzgresszió eredményeként képződött a platform-, és szublitóralis fáciesű Szépvölgyi Mészke („felső-eocén mészkőösszlet”), majd az általános vízmélység növekedésének következtében a karbonátos összletet felváltja a „sekélybathiális” kifejlődésű Budai Marga (Báldi 1998). A kora-oligocénben kiemelkedés történt, ami kialakította a Budai-hegység rögös szerkezetét, és kisebb mértékű lepusztuláshoz is vezetett. A kora-oligocén regresszió következménye volt a többnyire izolált, csak szorosokon át közlekedő medencék kialakulása, mint például a Tardi-medence, melyben a Budai Márgából fokozatosan kifejlődő szintén „sekélybathiális”, de anoxikus környezetet jelző Tardi Agyag képződött. Elterjedésének nyugati határa a Budai-vonal. A Budai-vonal olyan ÉÉK-DDNy-i csapású képződményhatár, amely a középső-eocéntól a korai miocénig a Budai-hegység legfontosabb paleogeográfiai választóvonalá volt (Fodor et al. 1994). Az

oligocén közepén a késő-kiscelliben tektonoesztatikus transzgresszió hatása mutatható ki, amely jelenség kísérője a Kiscelli-medence kialakulása (és a Kiscelli Agyag képződése), mely mélyebb és szélesebb csatornákon keresztül volt kapcsolatban a Paratethys-szel (Báldi 1983).

kor	litológia	sztratigráfia	rövid leírás
Kvarter		Kvarter üledékek	
Pannon s.l.		Pannon s.l. üledékek	
Miocén		Galgavölgyi Riolittufa Formáció	biotitos, horzsaköves riolittufa
		Budajenői Formáció	brakkvízi lagúna kifejődésű lemezes aleurit, aleuritos agyagmárga
		Tinnyei Formáció	biogén, néhol ooidos mészkő, mészhomokkő
		Rákosi Mészkő Formáció	sekélytengeri zátonyképződmény, lithothamniumos mészkő
		Mátrai Andezit Formáció	amfibol-, piroxénandezit
		Tari Dácittufa Formáció	biotitos, horzsaköves dácittufa
		Perbáli Formáció	cikluskezdő szárazföldi tarkaagyag, aleurit, tufa és tufitbetelepülésekkel
		Fóti Formáció	Bryozoás-balanuszos kalkarenit, gipszes agyag betelepülésekkel
		Egyházasgergei Formáció	gyakran keresztarétegzett, chlamyos homok, homokkő
		Gyulakeszi Riolittufa Formáció	vastagpados, biotitos, horzsaköves, ignimbritesedett, riolit és riodácit ártufa
Oligocén		Zagyvapálfalvai Formáció	tarka aleurit, kavics, homok összetételű folyóvízi-ártéri összlet
		Becskei Formáció	csökkentsósvízi, mocsári-folyóvízi képződmény
		Törökbálinti Homokkő Formáció / Szécsényi Slír Formáció	durva-, finomszemű homokkő / finomhomokos, csillámos, agyagos aleurit
		Kiscelli Agyag Formáció	normálsósvízi, agyagos, agyagmárgás aleurit
Eocén		Tardi Agyag Formáció	mikrorétegzett, euxin agyagos aleurit
		Budai Márga Formáció	normálsósvízi bryozoás márga, agyagmárga
Felső Triász		Szépvölgyi Mészkő Formáció	bioklasztos mészkő
		Fődolomit Formáció	nagy vastagságú, karbonátos platform képződmény

1. ábra. A vizsgált terület elvi rétegsora

A Tardi Agyagra konkordánsan települ a bathiális Kiscelli Agyag, mely a hazai oligocén legnagyobb tömegben előforduló formációja. A szintén a kiscelliben képződő Hárshegyi Homokkő a Kiscelli Agyag medenceperemi és bázis képződménye. Elterjedése a Budai-vonaltól nyugatra korlátozódik, ahol a Budai Márga és a Tardi Agyag általában nem található meg. A Kiscelli Agyag Formáció közeleire fokozatos átmenettel települnek a sekélyszubltorális-litorális Törökbálinti Homokkő Formáció és a mélyszubltorális-sekélybathiális, nyíltvízi Szécsényi Slír Formáció kőzetei. A Törökbálinti Homokkő és az arra konkordánsan települő litorális-szubltorális Budafoki Homok a Szécsényi Slír nyugati heteropikus medence-peremi fáciesei (Báldi 1997). Az oligocén végi medence feltöltődést, elmocsarasodást a Becskei Formáció jelzi. Az alsó-miocént egy teljes földtani nagyciklus jellemzi, melyet három középciklusra oszthatunk: a felső-egri regressziós ciklus, az eggenburgi transzgresszióval kezdődő, regresszióval záródó ciklus és az ottngi transzgresszióval kezdődő, regresszióval záródó ciklus (Hámor 1998). Az eggenburgi középciklus végén kezdődő háttér kiemelkedés következtében megnő a törmelékbeszállítás, ami a kontinentális Zagyvapálfalvai Formáció képződését eredményezi, mely diszkordánsan települ. Az eggenburgi-ottngi határon az üledékképződést epizodikus vulkáni működés szakítja meg, riolit-, riodácit-tufaömlés következik be, így képződött a

Gyulakeszi Riolittufa („alsó riolittufa”) ignimbritesedett ártufa formájában. A középső-miocén (Hámor 2001) földtani ciklus két középciklusra osztható fel: kárpáti és alsó-bádeni középciklus. A kárpáti transzgresszióval a litorális, abráziósparti, síkparti Egyházasgergei Formáció képződött, majd a regresszióval megszűnt az üledékgyűjtők aljzatsüllyedése, a víz sekélyebbé vált, és a feltöltődő zátonyos, sekélytengeri kifejlődésű Fóti Formáció ülepedett le. A középső-miocénben a területen kontinentális üledékképződés is zajlott, melyet a szárazföldi, cikluskezdő, tarkaagyag, a Perbáli Formáció („tarka aleurit”) jelenléte mutat. A kárpáti és a kora-bádeni középciklusok határán epizodikus vulkáni működés hatására rakódott le a Tari Dácittufa („középső riolittufa”), illetve a terület ÉK-i területein a Hasznosi Andezit („alsó andezit”). A középső-miocén végén megszűnik a Földközi-tengerrel való kapcsolat (Báldi 1980). A középső-, és felső-miocén határán újabb vulkáni tevékenység következtében alakultak ki a Mátrai Andezit Formáció vulkanitjai. A felső-miocén ciklus három középciklusra osztható: felső-bádeni, szarmata és pannon középciklus (Hámor 2001). A tengeri üledékgyűjtő határai a felső-bádenitől a pannonig közel azonos helyzetűek. A felső-bádeniben Budai-hegység szárazulatra került, míg a Pesti-síkság részben szárazulati részben zátony kifejlődésű volt, ez utóbbin képződött a Rákosi Mészke („felső lajtamészke”), melyre a Tinnyei Formáció („szarmata durvamészke”) települt. A szarmata fontos eseménye, mely feltételezhetően klímaváltozáshoz vezetett, a „sókrízis”. Ezáltal a terület elzárt evaporitos lagúna fáciesűvé változott, ahol lerakódtak a Budajenői Formáció üledékei. A felső-miocén vulkanizmus paroxizmusa is a szarmata idejére tehető, ekkor képződött a Galgavölgyi Riolittufa („felső riolittufa”). A pannon elején a medencealjzat süllyedése szakaszosan felgyorsul és a gyorsan emelkedő környező hegységek könnyen pusztuló anyagaiból nagy mennyiségű törmelék került a medencébe (Müller 1998). A pleisztocén üledékképződést elsősorban a tektonikai erők és a folyóvizek behordása határozta meg, ezeket a képződményeket maximálisan 1-2 méter vastag holocén talajrétegek fedik (Jámbor 1998).

A metróvonal földtani-tektonikai szempontból három nagymértékben eltérő vonalszakaszra osztható: a budai szakasz (a Kelenföldi pályaudvartól a Szent Gellért térig), a Duna alatti szakasz (a Szent Gellért tér nyugati részétől a Pesti Alsó rakpartig) és a pesti szakasz (a Fővár tértől a Keleti pályaudvarig, Dózsa György útig) (Raincsák 2000). A budai szakaszra homogén földtani felépítés és viszonylag kismértékű tektonizáltság jellemző. Ezen a nyomvonalszakaszon a tervezett alagút szinte végig az alsó-oligocén Kiscelli Agyagban halad. A Duna alatti átvezetés szakasza a Gellért-hegy DK-i oldalán lévő tektonikus, aszimmetrikus sasbércet harántolja. Az aszimmetriát az ÉK-i szárny erősebb térrövidülése okozta. Többnyire ÉNy-DK-i törésekkel tagolt. A pesti oldalon az alagút felső-oligocén és miocén rétegekben halad. A rétegsor DNy-ről ÉK felé fiatalodik. A vonalszakasz litológiailag nagyon változatos, erősen tektonizált és gyakoriak a vízzel telített rétegek vagy lencsék (Bubics 1978, Geovil 2005).

3 FÚRÁSI ADATOK FELDOLGOZÁSA

3.1 Helyszín

Az 1972-ben mélyített Z jelű fúrásorozat 41-48-as fúrásait vizsgáltuk (2. ábra). Az ábrán csillaggal jelölt Z-49-es fúrás, a korábbi helyszínrajzokon jelölve van, de a fúrásleírás nem volt hozzáférhető. A fúrások a 4-es metró nyomvonalának közelében helyezkednek el, a Kálvin és a Rákóczi tér között. A fúrások mélysége eltérő, a legmélyebb 60 méter, a legsekélyebb 40 méteres.

3.2 Szelvények

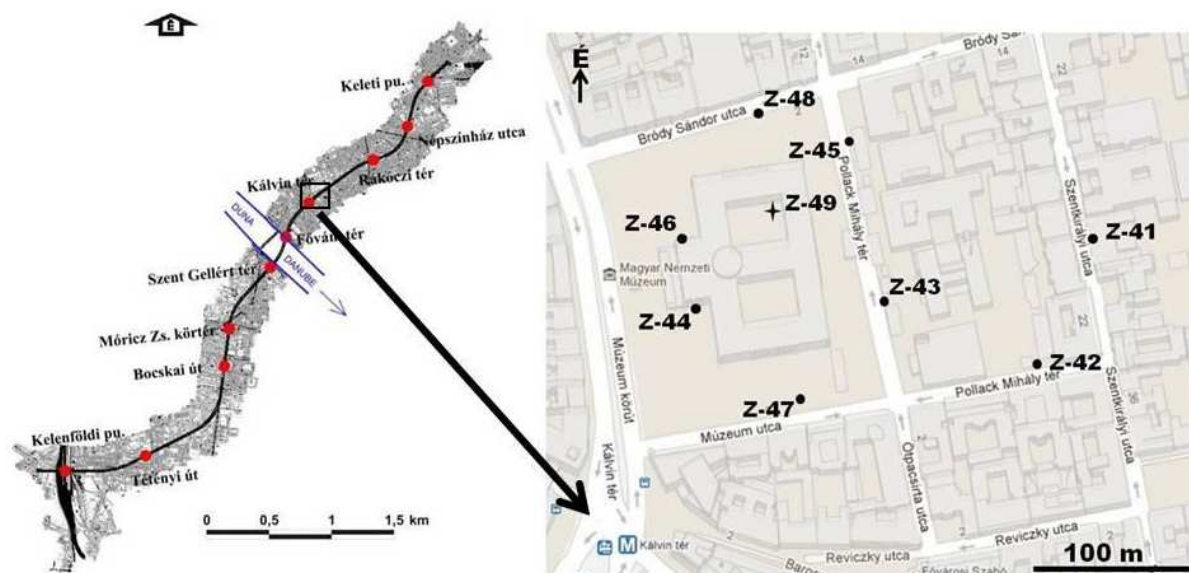
A szelvények szerkesztéséhez csak a fúrásleírás állt rendelkezésre, a fúrómag, a vizsgált kőzetanyag nem. A fúrásleírások helyenként hiányosak, nehezen olvashatóak vagy értelmezhetőek voltak. Ábrázolástechnikai és geológiai szempontokat is figyelembe véve az egyes rétegtípusok összevonására volt szükség, ezért a szelvényeken (3. ábra) a kavics-homok rétegek homokként, az iszap-sóvány agyag-közepes agyag-kövér agyag rétegek agyagként, a bentonit-bentonitos agyag rétegek pedig bentonitként szerepelnek.

A szelvényen egységesen, jól elkülöníthető a felső 13-15 méteres dunai kavicsos-homokos üledéket, antropogén feltöltést és talajréteget tartalmazó összlet. A területen egy alapvetően agyagos képződménybe homok, és bentonit csíkok, rétegek és lencsék települtek, melyeknek vastagsága a néhány 10 centiméterestől a 10 méteres vastagságig terjed. A szelvényen két normál vető volt azonosítható, melyek pontos helyét és dőlésszögét nem ismerjük, de a földtani adatok alapján egyértelműen kimutathatók voltak. A vetők ÉK-DNy-i irányúak, a szerkezetföldtani irányelveket figyelembe véve feltételezhetően közel párhuzamosan futnak, és DK felé dőlnek. A két vető elvetési magassága különbözik. A

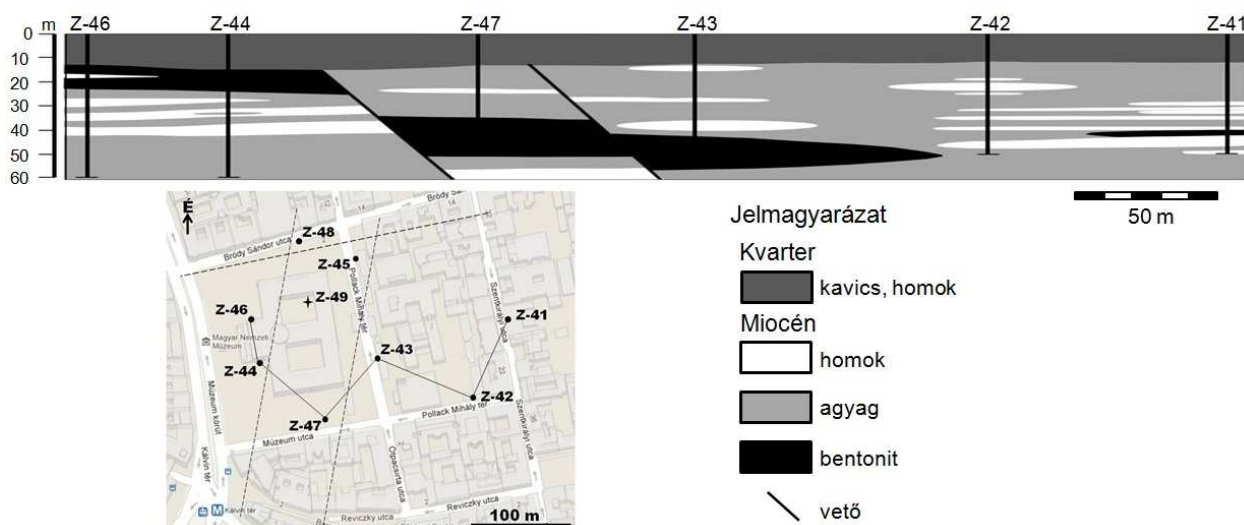
nyugatabbra eső, Z-44 és Z-47-es fúrás közötti kb. 15 métert, a Z-47 és Z-43-as fúrás közötti pedig kb. 10 métert vet el. A terület északi részén feltételezhető még egy K-Ny-i irányú vető, ám ennek egyelőre mind a dőlésiránya, mind a dőlésszöge bizonytalan. A vető azonosításához szükség lenne a Z-49-es fúrásleírásra, amely sajnos nem állt rendelkezésre.

3.3 Adatok

Az adatok a fúrási naplóból származnak, ahol a fúrómagból vett mintákon végzett vizsgálatok mért vagy számolt értékei találhatóak. Csak a fúrásleírásban szereplő vizsgálati eredmények számszerű értékei álltak rendelkezésre. Az adatbázis létrehozásához az adathalmazt digitalizálni kellett, ami jelen esetben 3043 adat feldolgozását jelentette. A fúrásokban 12 féle paramétert mértek: víztartalom, plasztikus index, egyenlőtlenségi együttható, hézagtenyező, relatív nedvesség, száraz és nedves térfogatsúly, súrlódási szög, kohézió, törőfeszültség, vízáteresztő képesség, CaCO_3 tartalom. Az egyes vizsgálatok kivitelezhetősége és célja határt szab, ezért nem lehet minden mintán az összes paramétert megmérni. Minden paraméter esetén kiszámoltuk az átlagot, a szórást és a mediánt. Az adatokat két táblázatban foglaltuk össze (1. táblázat). Az egyikben a Z-34 – Z-40-es fúrások, amelyek a Rákóczi téren és környékén helyezkednek el, a másikban a Z-41 – Z-48-as fúrások eredményei szerepelnek, melyek a Kálvin tértől keletre találhatóak. Mindkét fúrás csoport esetében elegendő adat állt rendelkezésre, a megmintázottság megfelelő mértékű volt. A két terület hasonlóságából adódóan, az eredmények is közel azonos értékeket mutatnak. Eltérések a plasztikus index és a kohézió értékeiben tapasztalhatók.



2. ábra. A vizsgált terület elvi helyszínrajza



3. ábra. Geológiai szelvény a Kálvin tér térségében

1. táblázat. A feldolgozott adatok összesítő táblázatai

Összesítő táblázat
(Z-34 – Z-40 fúrások)

Adattípus		darab- szám	átlag	szórás	min.	medián	max.
víztartalom	w [%]	684	16,69	5	0	17	44
plasztikus index	I _p [%]	155	30,8	18,5	2	26	120
egyenlőtlenségi együttható	U [-]	66	23,9	36,4	2,2	15,8	286
hézagtényező	e [-]	62	0,61	0,18	0,38	0,57	1,19
relatív nedvesség	r [-]	62	0,9	0,11	0,27	0,93	0,99
nedves térfogatsúly	ρ_0 [kg/m ³]	62	2,11	0,11	1,82	2,14	2,28
száraz térfogatsúly	ρ_d [kg/m ³]	62	1,81	0,18	1,32	1,87	1,98
súrlódási szög	φ [°]	61	30	5,3	20	30	39
kohézió	c [kN/m ²]	61	120	56	12	110	310
törőfeszültség	δ [MPa]	62	9,4	9,3	0,9	6,2	48,5
vízáteresztő képesség	k [m/s]	29	5*10 ⁻⁶	2*10 ⁻⁵	1*10 ⁻¹⁰	1*10 ⁻⁸	1*10 ⁻⁴
CaCO ₃ tartalom	%	40	12,6	5	4	12	25

Összesítő táblázat
(Z-41 – Z-48 fúrások)

Adattípus		darab- szám	átlag	szórás	min.	medián	max.
víztartalom	w [%]	866	17,8	4,8	1	18	54
plasztikus index	I _p [%]	153	22,7	9,8	1	21	48
egyenlőtlenségi együttható	U [-]	88	12,5	11,4	1,4	7,8	52,5
hézagtényező	e [-]	62	0,55	0,12	0,32	0,46	1,06
relatív nedvesség	r [-]	62	0,92	0,06	0,78	0,92	1
nedves térfogatsúly	ρ_0 [kg/m ³]	62	2,15	0,08	1,93	2,16	2,28
száraz térfogatsúly	ρ_d [kg/m ³]	62	1,85	0,1	1,45	1,89	1,98
súrlódási szög	φ [°]	61	31	4,51	20	31	39
kohézió	c [kN/m ²]	61	12	7	1	10	32
törőfeszültség	δ [MPa]	62	6,9	3,5	1,8	5,7	18
vízáteresztő képesség	k [m/s]	33	8*10 ⁻⁴	2*10 ⁻³	1*10 ⁻⁸	2*10 ⁻⁶	1*10 ⁻²
CaCO ₃ tartalom	%	65	17	12,5	3	12	53

4 ÉRTÉKELÉS

A Kálvin tér környéke komplex földtani felépítésű. Az, hogy litológiaiag rendkívül inhomogén, számos réteges vagy lencsés betelepülés figyelhető meg, és hogy erősen tektonizált a terület, nagyfokú bizonytalanságot ad a pontos geológiai értelmezésben, amihez az is hozzájárul, hogy a fúrások feldolgozásának színvonala jelentősen eltérő. A fúrásokból nagyszámú adat áll rendelkezésre, azonban ezek

megbízhatósága nem mindig eldönthető. A leírások sokszor ellentmondásosak, vagy nehezen értelmezhetőek.

A szelvények és a digitalizált adatok statisztikai feldolgozása, a geomatematikai vizsgálatok előkészítő lépései. A jövőben az adatsort többváltozós adatelemző módszerekkel vizsgáljuk. Ilyen típusú módszereket alkalmaztunk a Rákóczi téri fúrások adatain (Bodnár et al. 2011), ahol a vizsgálat eredményeivel szolgált. A Kálvin tér esetében a további vizsgálat szükségességét több tényező is indokolja. A rendelkezésre álló eredmények megbízhatóságának növelése. Az adatok megfelelő feldolgozásával, szűrésével a közzétett, tektonikai leírások pontosíthatók, ami elengedhetetlen a szelvénytérképezéshez. A terület jellegéből adódik, hogy a minél pontosabb, megbízhatóbb geológiai ismeret létfontosságú. Elég, ha csak a jövőbeni Kálvin téri 5-ös metró építésére gondolunk.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

IRODALOMJEGYZÉK

- Báldi T. 1980. A korai Paratethys története. *Földtani Közlöny*, 110/3-4, 456-472.
- Báldi T. 1983. *Magyarországi oligocén és alsómiocén formációk*. Akadémia Kiadó, Budapest, 293.
- Báldi T. 1997. Az Észak-magyarországi alsó-miocén közetrétegtani tagolása. In: Haas J. (szerk.): *Fülpölöp József emlékkönyv*. Akadémia Kiadó, Budapest, 215-230.
- Báldi T. 1998. A magyarországi miocén rétegtana. In: Bérczi I., Jámbor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 419-436.
- Bodnár N., Kovács J., Török Á. 2011. Geomatematikai vizsgálatok szerepe a mérnökgeológiában: Rákóczi téri M4 állomás közetkörnyezetének példáján bemutatva. *Geotechnika 2011 Konferencia*, 47.
- Bubics I. 1978. A budapesti metróépítés földtani eredményei. *Mérnökgeológiai Szemle*, 21, 5-87.
- Fodor L., Magyarai Á., Fogarasi A., Palotás K. 1994. Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. *Földtani Közlöny*, 124/2, 129-305.
- Geovil Kft. 2005. *Budapest 4. metróvonal, I. szakasz, Összefoglaló mérnökgeológiai, hidrogeológiai és geotechnikai szakvélemény, „A” kötet, Természetföldrajzi és földtani adottságok a nyomvonal mentén*. kézirat, Szentendre, Geovil Kft., 25.
- Hámor G. 1998. A magyarországi miocén rétegtana. In: Bérczi I., Jámbor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 437-452.
- Hámor G. 2001. A Kárpát-medence miocén ösföldrajza. Magyarázó a Kárpát-medence miocén ösföldrajzi és fácies térképéhez 1:3000000. *A Magyar Állami Földtani Intézet Térképmagyarázói*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 67.
- Jámbor Á. 1998. A magyarországi kvarter (negyedidőszaki) képződmények rétegtanának áttekintése. In: Bérczi I., Jámbor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 403-417.
- Kecskeméti T. 1998. Magyarország epikontinentális eocén képződményeinek rétegtana. In: Bérczi I., Jámbor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 403-417.
- Müller P. 1998. A pannóniai képződmények rétegtana. In: Bérczi I., Jámbor Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. A MOL Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 485-493.
- Raincsák Gyné. 2000. A Budapest 4. sz. Metróvonal és környezetének földtani viszonyai. *Földtani Kutatás*, 37/2, 4-19.
- Schafarzik F., Vendl A., Papp F. 1964. *Geológiai kirándulások Budapest környékén*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 296.
- Szlabóczky P. 1998. *Szemelvények a tervezett budapesti IV-s metró vonalat érintő régebbi földtani kutatásokból*. előadás kivonat (kézirat), Geotechnika '98 Konferencia, Ráckeve