

A dinnyeberki uránércesedés földtana, kísérleti perkolációja és rekultivációja

KONRÁD Gyula¹, FÖLDING Gábor², BARABÁS András³ & UNYI Péter⁴

¹ Pécsi Tudományegyetem, TTK, Földtani Tanszék, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

² Mecsek-Öko Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.

³ GEOEX Hungary Kft., 7673 Kővágószőlős, Arany János utca 2/A.

⁴ 7635. Pécs, Gólya dűlő 51.

Geology, experimental in situ leaching and site remediation of the Dinnyeberki uranium ore deposit

Abstract

The Dinnyeberki uranium ore deposit is located west of Dinnyeberki, at a depth range of 25.8–40.8 m below the surface, and at 100–115 m above sea level (N 46°05′ 36.46″ E 17°56′ 47.20″). It is in the 0.5–3.5 m-thick, coarse-grained sedimentary rocks along with the high organic matter content of the Szászvár Formation. Its horizontal extent is 50×70 m. The underlying rocks of the Szászvár Formation are the Palaeozoic basement (Mórággy Granite, Korpád Sandstone, Gyűrűfű Rhyolite, Cserdi Sandstone) and the Middle Miocene (Karthian) Tar Dacitic Tuff. It is overlain by the Upper Pannonian (s.l.) Somló Formation. On the top of the bed sequence there is loess and re-deposited loess.

The immediate over- and underlying beds of the mineralization are poor aquifers (10^{-8} m/s). The original water content of the mineralized horizon is 5% its average porosity is 15–20%, and its permeability 1–10 mD. Its average effective coefficient of permeability is 3.5×10^{-7} m/s. The lead isotopic age of the mineralization is 20 million years, with additional enrichment through mobilisation 11–15 million years ago. When discovered, 90% of the uranium was mobile and in an oxidised (U^{6+}) state. The ore reserve is 18,000 kg U. The equilibrium conditions of the mineralization were changed by the experimental in situ leaching. In the mineralized section of the Dinnyeberki Db–3 well (drilled in 1982) the $Ra_{U_{oc}}/U$ equilibrium ratio varied randomly between 0.76 and 1.5. In the lower mineralized section of the Db–46 well drilled in 2008 this parameter was 0.39, while in its upper mineralized section the ratio has shifted towards a radium surplus, even reaching a value of 1.89. According to the Dahlkamp classification, the mineralization belongs to sandstone-type deposits within these the Chinle subtype has developed in a basal channel environment.

The Mecsek Ore Mining Company launched experimental *in situ* leaching to exploit the uranium in the middle of the 1980s. The production was stopped in 1989. The environmental status assessment started in 1995. The solution retained in the deposit was strongly acidic ($pH_{min} = 2.8$), with highly dissolved uranium ($U_{max} = 42$ mg/l) and sulphate ($SO_4^{2-}{}_{max} = 16,255$ mg/l). The remediation with clean water washing-out was started in 1999 and lasted three years.

Keywords: Western Mecsek Hills, Miocene, uranium ore, hydrogeology, in situ leaching, remediation

Összefoglalás

A dinnyeberki uránércesedés Dinnyeberkitől nyugatra, a felszín alatt 25,8–40,8 méter mélységben, 100–115 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el (É 46°05′ 36,46″ K 17°56′ 47,20″). A Szászvári Formáció durvatörmelekes, magas szervesanyag-tartalmú, 0,5–3,5 m vastagságú összletéhez kötődik. Horizontális kiterjedése 50×70 m. A Szászvári Formáció fekszik a paleozoos alaphegység (Mórággyi Gránit, Korpádi Homokkő, Gyűrűfűi Riolit, Cserdi Homokkő), illetve a középső-miocén (kárpati) Tari Dácittufa. Felette üledékhiánnyal települ a felső-pannóniai (s.l.) Somló Formáció. A rétegsort lösz – áthalmazott lösz zárja.

Az ércesedés közvetlen fedő és fekvő rétegei rossz (10^{-8} m/s) vízáteresztő képességűek. Az ércesedést hordozó réteg eredeti víztartalma 5%, átlagos porozitása 15–20%, permeabilitása 1–10 mD. Átlagos effektív szivárgási tényezője $3,5 \times 10^{-7}$ m/s. Az ércesedés ólomizotóp-kora 20 millió év, további áthalmazódásos dúsulása 11–15 millió éve zajlott. A feltáráskor az urántartalom 90 százaléka mobilis, oxidált (U^{6+}) állapotú volt. A számított készlet 18 000 kg fémurán. Az ércesedés egyensúlyi viszonyai a kísérleti perkoláció hatására megváltoztak. Az 1982-ben mélyült Dinnyeberki Db–3 jelű fúrás érces szakaszán a $Ra_{U_{oc}}/U$ egyensúlyi hányados 0,76 és 1,5 közötti tartományban, rendszertelen eloszlásban változott. Az 2008-ban mélyült Db–46 jelű fúrás alsó érces szakaszában ez az érték 0,39 volt, amíg a felső érces szakaszában a radioaktív egyensúly a rádium irányába tolódott el, a hányados jelenleg eléri az 1,89-es értéket is.

Az ércesedés a Dahlkamp-féle osztályozási rendszerben a homokkő típuson belül az alaphegység-felszíni üledék-szállítási csatornában létrejövő Chinle-altípusba sorolható.

Az urán kitermelésére a nyolcvanas évek közepén a Mecseki Ércbányászati Vállalat felszín alatti kísérleti perkolációt indított. 1989-ben a termelés leállt. 1995-ben kezdődött meg a környezeti állapotfelmérés. A visszamaradt oldat erősen savasnak ($\text{pH}_{\min} = 2,8$), magas oldott urán- ($U_{\max} = 42 \text{ mg/l}$) és szulfáttartalmúnak ($\text{SO}_4^{2-} = 16\,255 \text{ mg/l}$) bizonyult. 1999-ben tiszta vizes öblítéssel indult kármentesítés, amely három év alatt fejeződött be.

Tárgyszavak: Nyugati-Mecsek, miocén, uránérc, vízföldtan, felszín alatti kioldás, rekultiváció

Bevezetés

A nyolcvanas évek elején megismert dinnyeberki (néhány jelentésben gyűrűfűinek nevezett) uránércesedésről — a bejelentéstől (CHIKÁN & WÉBER 1984) eltekintve — nem jelent meg nyomtatásban ismertetés. Ezt a hiányt szándékozunk pótolni az ércesedés teleptanának, a kutatás és a kísérleti perkoláció menetének és a rekultiváció módjának a bemutatásával.

Kutatástörténet

A nyugat-mecseki uránérc megismerését követően a Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV), illetve elődveallatai Dinnyeberki környékén is folytattak ércutatást, amit a perm kori képződmények felszíni és felszínközeli előfordulásai indokoltak. A fúrás- és kutatóakna-mélyítés mellett radiohidrológiai és radiometriai felvételek is folytak, a mód-

szerek fejlődésével ismételtlen is. E kutatások során uránércesedést nem találtak.

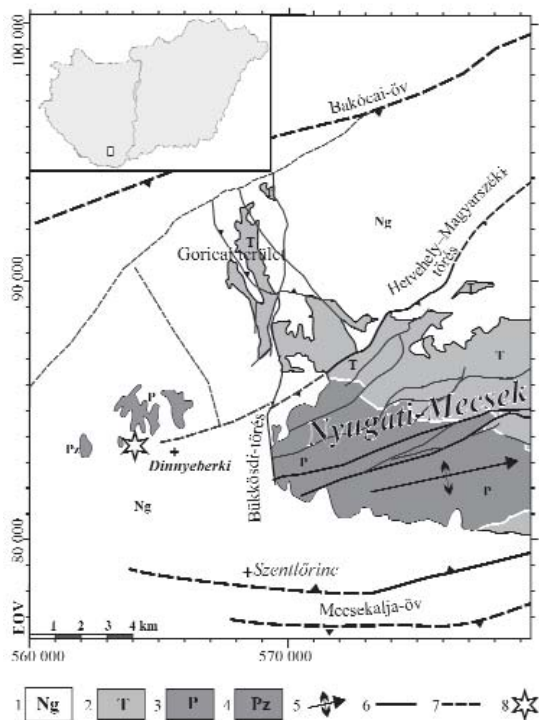
A Magyar Állami Földtani Intézet és a MÉV együttműködésének keretében folytatott tízezres méretarányú földtani térképezéshez 1982-ben, Dinnyeberkitől NyDNY-ra, a Gyűrűfűi-völgy oldalvölgyében CHIKÁN Géza tervei szerint mélyült a Bükkösd térképező Büt-10 jelű fúrás, amelynek miocén törmelékes üledéksorában (36,5–39,9 m mélységben) magas gammaanomáliát mértek (CHIKÁN & WÉBER 1984). (Érdekes, hogy a térképező fúrás a később feltárt érclelencsének pontosan a közepét, a legjobb minőségű és legvastagabb részét harántolta.) A MÉV Kutató-Mélyfúró Üzeme még abban az évben fúrásos kutatást indított (KONRÁD 1982a, 1982b; WÉBER 1982) (1. ábra, I. táblázat).

A területet 20 méteres, NyDNY-KÉK-i és ÉÉNY-DDK-i csapású négyzetháló szerint telepített 45 db magfúrással tártuk fel. (A magfúrássok a Db [Dinnyeberki] jelet kapták, a későbbi, teljes szelvényű geofizikai ellenőrző fúrások a Dbg jelet. A kezdeti kísérletek lineáris kúthálójának fúrásai P jelűek, a hatszöges elrendezésű kísérleti perkolációs fúrások hat nyomókútja N, a szívókút S jelölésű. F jelűek a megfigyelőkutak.) A neogén képződmények harántolása után a fúrások még néhány métert haladtak az alaphegységi képződményekben. A mélyebb fekvő rétegsor megismeréséhez lemélyítettük a 9017 számú, 607,6 m talpmélységű magfúrást is.

A fúrómag dokumentációját rétegenként — az országban az elsők között — számítógépi feldolgozásra alkalmas formában szerkesztett adatlapokon rögzítettük. Emellett — a JÁMBOR Áron által a nyugati-mecseki ércutatásban meg-honosított módszerre alapozva, azt kibővíve — minden fúrásról 1:200 méretarányú „fáciesszelvényt” készítettünk, amelyen a litológiai adatokon túlmenően a műszaki paramétereket és a karotázsgörbéket is ábrázoltuk.

A kutatás eredményeként egy 18 000 fémkilogramm urántartalmú érclelencse vált ismertté, a felszín alatt 25,8–40,8 méter mélységben, 100–115 m közötti tengerszint feletti magasságban.

Az anyagvizsgálatok az ércesedés paramétereinek megismerése mellett elsősorban a felszín alatti kioldásos termelés megalapozását szolgálták, ugyanis a gazdasági számítások a külfejtés és a mélyművelés helyett a fúrólyukakon keresztül történő kioldást jelezték kifizetődőbbnek. 1985-ben kezdődött meg a kísérleti föld alatti perkoláció, amelynek 1989-ben jelentkeztek az első eredményei (UNYI 1989). A kísérleti perkoláció befejezése után először 1995-ben végeztünk állapotfelmérést (KONRÁD 1995, LENDVAI 1995), majd 1999-ben elkészítettük a kármentesítési tervet (KONRÁD et al. 1999). A kármentesítés 1999. szeptember 14-én kezdődött, és 2002. október 8-án ért véget. A kétezres években a WildHorse Energy Kft. (WHE) ismét kutatni



1. ábra. A dinnyeberki ércesedés helyzete a Ny-Mecsek földtani térképvázlatán
1 – neogén képződmények felszíni elterjedése; 2 – triász képződmények; 3 – perm képződmények; 4 – paleozoos kristályos aljzat, 5 – periantiklinális-tengely; 6 – észlelt szerkezeti elemek; 7 – szerkesztett szerkezeti elemek; 8 – dinnyeberki ércesedés

Figure 1. Location of the Dinnyeberki ore deposit on the geological map of the Western Mecsek Hills

1 – Surface occurrence of Neogene formations; 2 – Triassic formations; 3 – Permian formations; 4 – Palaeozoic crystalline basement; 5 – Axis of perianticline; 6 – Observed structural elements; 7 – Concluded structural elements; 8 – Dinnyeberki ore deposit

I. táblázat. A dinnyeberki érckutatás, kísérleti perkoláció és kármentesítés munkafázisai**Table I.** Phases of the ore exploration, experimental in situ leaching and site remediation at Dinnyeberki

1982	Az érccsedés harántolása a Büt-10 jelű térképező fúrással; a Db-3 jelű ellenőrző fúrás és Db jelű felderítő fúrások mélyítése; egyedi kútvizsgálatok a Db és a 9017 jelű fúrásokban; DUDUKALOV-POPOV (1982) szerinti lineáris kútháló kialakítása (P jelű fúrások)
1982-1983	A P jelű perkolációs fúrásokban nyelési és egyedi kútvizsgálatok
1985	Próbaszivattyúzás a P 10-es fúrásból
1986	Sóoldatos kísérletek a P jelű fúrásokban
1986. 08.	Sóoldatos (NaCl) nyomjelző kísérletek kezdete
1987	Kúttisztítás, új, hexagonális kútháló tervezése
1987-1988	A hexagonális kútgózejt kútjainak (S 1, N 1 6) mélyítése
1988. 06. 23. - 1988. 10. 28.	Perkolációs kísérletek kénsavas oldattal
1989. 02.	A perkolációhoz kapcsolódó utolsó elemzési eredmények
1995	Tanulmány a perkoláció környezeti hatásairól, rekultivációs terv
1995. 06. 21. 07. 07.	Kísérleti tisztító kompresszorozás
1997-1999	Vízminőségvizsgálatok, hidraulikai vizsgálatok
1999. 09. 14. - 2002. 10. 08.	Kármentesítés
2008	A DB 46 jelű fúrás lemélyítése (WildHorse Energy)
2011	Bányászati tervezés (WildHorse Energy, Mecsekérc Zrt.)

kezdte a lelőhelyet, ennek során 2008-ban lemélyítették a Dinnyeberki Db-46 jelű fúrást (BARABÁS 2009). 2011-ben a WildHorse Energy és a Mecsekérc Zrt. együttműködésében megindult a mélyszerinti bányaműveletek tervezése.

Az érccsedés földtani és teleptani jellemzői

Földtani környezet

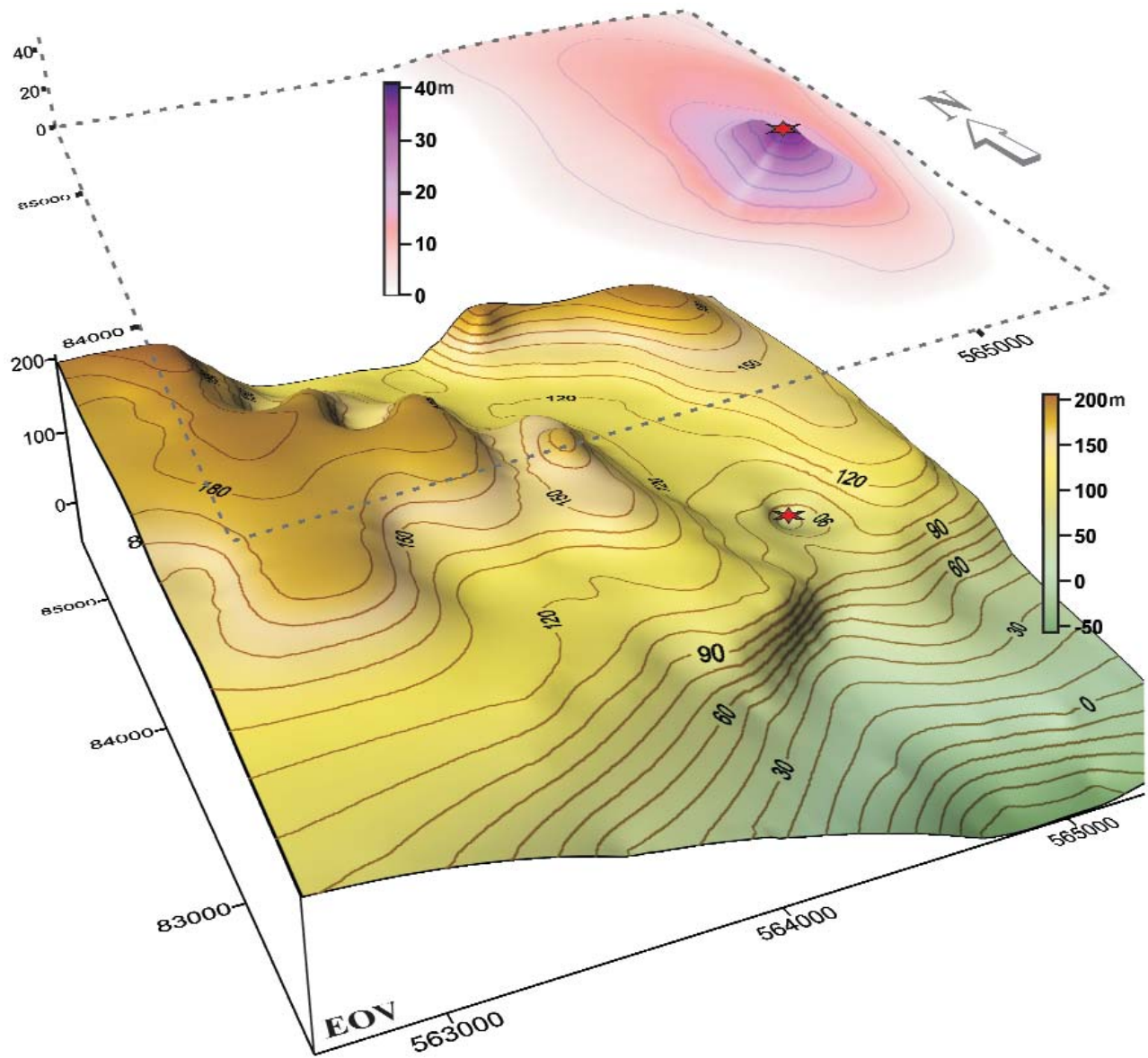
A vizsgált terület a Nyugati-Mecsek nyugati előterében, a Mecsek-alja-övtől északra, a Bükkösi-töréstől nyugatra található. Az alaphegységet paleozoos granitoid (Mórágai Komplexum), alsó-permi törmelékes üledékek (Korpádi Homokkő, Cserdi Formáció) és riolit (Gyűrűfői Riolit) alkotja. A Gyűrűfői-Dinnyeberki környéki felszíni kibúvásoktól dél felé haladva az alaphegység felszíne egyre mélyebben található (2. ábra).

Nyugatabbra, Nagyváty környékén a granitoidok a felszínen is megjelennek, az érccsedéstől délkeletre pedig a Helesfai Szerpentinitet fúrták meg kis mélységben a pannóniai képződmények alatt (Helesfa H-1, H-2).

Az érccsedés egy Dinnyeberkitől nyugatra, É-D-i csapással déli irányba mélyülő és kiszélesedő alaphegységi völgy elszigetelt miocén üledék-előfordulásához kapcsolódik (2. ábra és 1. még a 3. ábra földtani térképén az alaphegységfelszín szintvonalait). A miocén képződmények elterjedését és vastagságát szemlélteti a 2. ábra. A részletesen megkutatott terület nagysága 160×180 méter (3. ábra).

A fúrások és a közeli kibúvások adatai szerint az alaphegységet adó perm rétegek jellemzően ÉNy felé dőlnek ~30 fokkal. A granitoid a Nagyváty környéki fúrásokból és felszíni előfordulásból ismert típusú megegyező, általában halványrózsaszín vagy zöldesszürke színű. Aprókristályos, halványzöld és rózsaszín földpát, valamint kvarc és biotit jellemzi. BUDA (1984) vizsgálatai szerint kémiai összetétele közel áll a mórágai granitoidokhoz, de annál savanyúbb. Jellemző közettípusai a monzogranit-granodiorit, kvarcmonzonit, diorit-tonalit (KÓSA 1982). Aplit, kvarc, valamint lampfír (fonolit?)-telérei ismertek. A dinnyeberki érccsedés északi peremén mélyült 9017 számú fúrás granitoidjában 512–516 méter között mikrotelérés-mikroeres uránérc-indikációt találtak (VINCZE et al. 2011).

A granitoidra települő Korpádi Homokkő a vizsgált területen vörösesbarna, rosszul osztályozott, kavicsos homokkő. A kavicsok anyaga granitoidokból és metamorf kőzetekből származik. A formációnak felszíni kibúvása ismert ÉNy-ra, egy kilométer távolságban. A Korpádi Homokkőre települő Gyűrűfői Riolit felszíni kibúvása 1 km-rel északabbra található. A 9017-es fúrás harántolta a teljes formációt. Irányított szövete az alaphegység dőlésszögével megegyező. Saját anyagú zárványai mellett vörös és sötétszürke aleurolit-zárványokat is tartalmaz. A porfíros elegyrészek aránya kb. 50%: rózsaszín földpát, üvegfényű, gyakran víztiszta kvarc és fekete színes szilikátok ismerhetők fel benne. Eredeti leírásunk szerint 56,2–56,7 m és 141,2–141,7 m között agglomerátum, a formáció legalsó része — 141,7–146,8 m között — pedig halványzöld, kovával cementált tufa. VARGA (2009) értelmezése szerint a teljes formáció ignimbit.



2. ábra. Az alaphegység-felszíne (a kainozoikum elhagyásával, lent) és az alsó-középső-miocén üledékek vastagságtérképe (fent) a dinnyeberki ércesedés környezetében. Az ércesedés helyét csillag jelöli

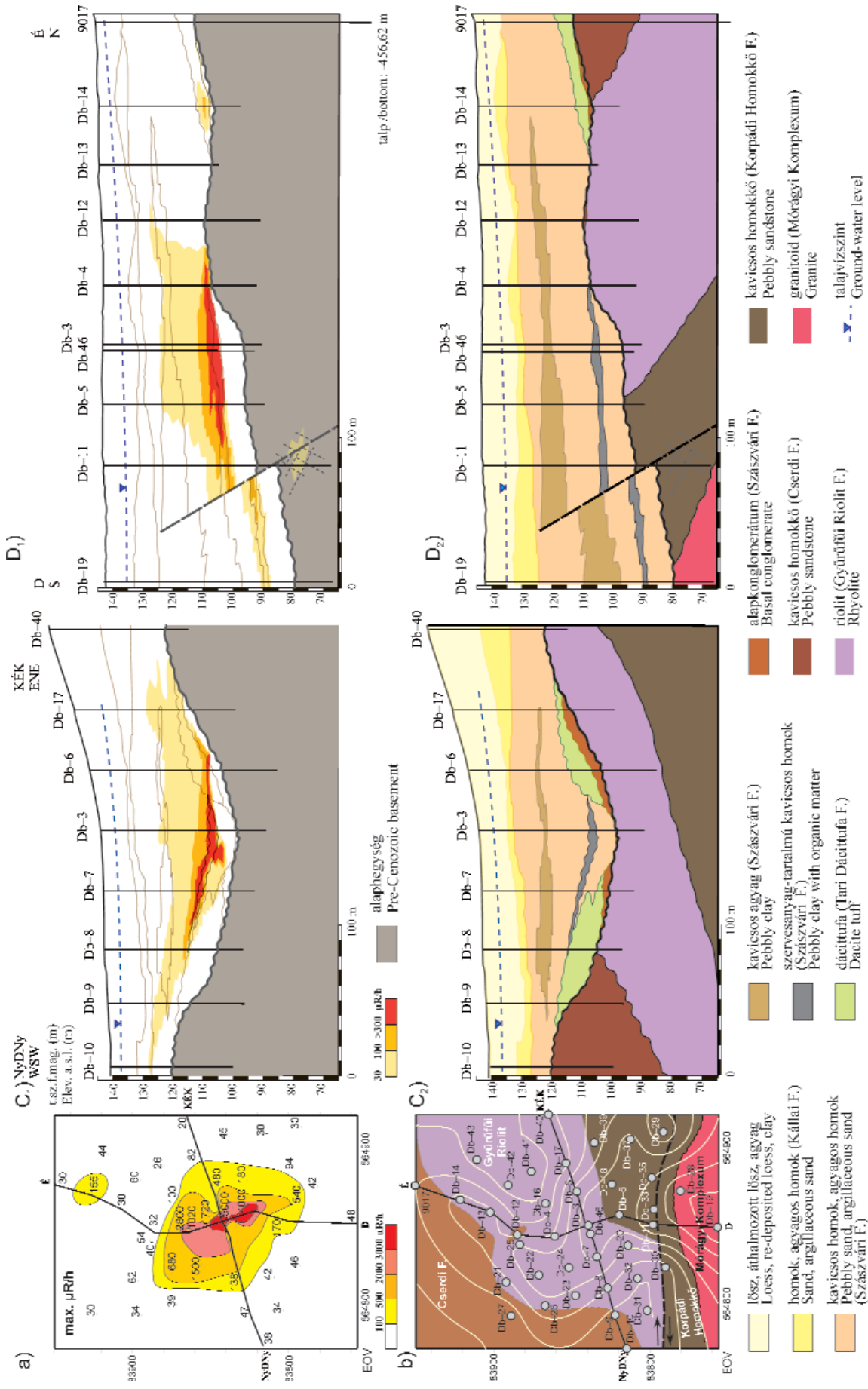
Figure 2. Contour lines of the elevation of the top of pre-Cenozoic basement above sea level (below) and the thickness of Miocene sediments (above) in the vicinity of the Dinyeberki ore deposit. The deposit is shown by an asterisk

A Gyűrűfői Riolitra települést Cserdi Formációt barna konglomerátum és kavicsos homokkő jellemzi. A kavicsanyag nagyrészt a Gyűrűfői Riolitból származik, emellett metamorf és granitoid kőzetfélések fordulnak elő benne. Báziskonglomerátumát riolit- és homokkő-kavicsok alkotják. A 9017-es fúrásban az 57,2–54,5 m közötti rétegeit tufitnak minősítettük, báziskonglomerátumának mátrixából tufát írtunk le. Hasonló képződményeket említ FAZEKAS (1978) a 9015 jelű fúrásból, szintén a Cserdi Formáció alsó, a Gyűrűfői Riolitra települést rétegeiből.

A legidősebb fedőhegységi képződmény a Szászvári Formáció alapkonglomerátuma. (A területen feltárt miocén durvatörmelék összetételét CHIKÁN [CHIKÁN 1991, in GYALOG & BUDAI 2004] Keresztúri Formáció néven javasolta elkülöníteni. Jelen tanulmányban a Szászvári Formációba

soroljuk, annak késői, hegységperemi kifejlődéseként.) Az alapkonglomerátum fölött, illetve annak hiányában — az egykori domboldalon — az alaphegység felszínén települ a zöld színű, horzsaköves, biotitos Tari Dácittufa. A formációt 23 db fúrás harántolta, legnagyobb vastagságban (9,1 m) a Db-23 jelű. Több fúrás (Db-20, -22, -30, -35, -37, -39) rétegsora alapján a tufa a Szászvári Formáció képződése idején rakódott le, azzal „összefogazódik”. A völgy középső részén az időszakos vízfolyás később erodálta, többnyire a báziskonglomerátummal együtt (3. ábra), majd az így kialakult árokban folytatódott az üledékképződés.

Az alapkonglomerátumra, illetve a tufára alig koptatott, durvaszemű kavicsokból álló lejtőtörmelék és időszakos vízfolyások üledéke települ. Gyakran mátrixvázú, a mátrix legnagyobb része a dácittufa lepusztulásából származik. A



3. ábra. A dinnyeberki ercedés földtani helyzete és a karotázsmérések gamma-szelvénye alapján szerkesztett ércenkonzentráció (KONRAD 1995 nyomán) *Figure 3. Geological position of the Dinnyeberki mineralization and the ore grade contour lines drawn from the downhole gamma-ray logs (after KONRAD 1995)*

rétegsorban alulról felfelé haladva egyre redukáltabbá válik, színe vörösbarnáról szürkére változik. Kavicsanyaga a gyakoriság sorrendjében: riolit (Gyűrűfűi Riolit), alsó-középső-permi homokkő (Korpádi Homokkő, Cserdi Formáció), granitoid-féleségek, kvarc, csillámpala, kvarcit és bazalt (Mecsekjánosi Bazalt). A kvarc, a metamorf kőzetekből származik, a bazalt anyagú kavicsok feltehetően idősebb miocén képződményekből áthalmozottak, mert a közvetlen környéken nem ismert számban álló előfordulásuk. Rétegsorának alsó harmadában található meg az a szervesanyagban gazdag, sötétszürke, kavicsos, agyagos homok, amelyhez az ércesedés kapcsolódik. SÜTŐNÉ (in HEGYI 1982) palinológiai eredményei szerint eggenburgi–ottnangi korú, ugyanakkor a közbetelepült tufa az ásvány-kőzettani jellemzők alapján azonosítható a kárpáti emeletbe tartozó Tari Dácittufával. BARABÁS et al. (1996) szerint a Nyugati-Mecsek területén a teresztrikus összlet képződése a kárpáti korszakban is folytatódott, tehát fácieseltőlódással a korábbi flóra is fennmaradhatott.

A miocén rétegek eróziós felszínére sárga, homokkő-reteges, helyenként agyagos lencséket tartalmazó, 2–35 m vastagságban harántolt, a Somlói Formációba sorolható felső-pannóniai homok települ. Jól osztályozott, enyhén agyagos kötőanyagú, aprószemcsés, apró muszkovitsillámos. Anyaga főként granitoidokból származik, a kvarc, a kevesebb földpát és a gyakori muszkovit mellett biotitcsillámokat is tartalmaz. Alsó rétegei gyakran halványzöld, szürke árnyalatúak. Bázistörmeléke 0,3–1,2 m vastagságú, szürke, rosszul osztályozott, agyagos kötőanyagú, mátrixvázú, kavicsos homokkő, jól koptatott, zömében gránit, kevesebb riolit anyagú aprókavicsal (Kállai Kavics Formáció?). A Somlói Formáció eróziós felszínére települnek a 12 m átlagvastagságú, negyedidőszaki eolikus–deluviális üledékek, illetve elsősorban lösz, áthalmozott lösz.

A feltárt területen egy jelentős vető ismert, amelynek síkja a négy harántolás (9017, Db–11, Db–29 és Db–33 jelű fúrás) alapján 350°/70° helyzetű (3. ábra). E mentén az alaphegységi képződményekben legalább 100 méter a *normál vető* jellegű rétegtani elvetési magasság. Ugyanakkor a miocén rétegsorban e szerkezet mentén 15 méteres *feltolódás* következett be, ami a fúrási rétegsorok közvetett adatai szerint a pannóniai képződményeket is érintette, vagyis az alaphegységi törés (normálvető vagy jobbos eltolódás) síkja — a Mecsekre jellemző tektonikai fejlődésmenttel megegyezően — a késő-neogénben, déli vergenciájú feltolódásként éledt újjá (3. ábra), (KONRÁD & SEBE 2010). Ezt támasztja alá FAZEKAS & VINCZE (1984) ércvizsgálata is. A szerkezet mentén az alaphegységben (Korpádi Homokkő) hidrotermás átalakulással Cr- és U-dúsulásos illitesedés történt, ami a Kővágószőlősi Homokkő uránérces szerkezeti zónáiból jól ismert folyamat, és az alpi tektonikához köthető. Mivel a felette települő miocén rétegekben ilyen illitesedés nem figyelhető meg, a Db–11 fúrással feltárt anomális szerkezeti zóna is miocén előtti; késő-miocén felújulását hidrotermás folyamatok már nem kísérték.

Az ércesedés jellemzői

Az ércesedéshez tartozó U-anomália elterjedése négy képződményt érint (3. ábra):

- az alaphegységi vetőagyagot,
- a dácittufa alatti szervesanyag-tartalmú rétegeket,
- a dácittufa alsó néhány deciméterét és
- a dácittufa feletti szervesanyag-tartalmú törmelékes összletet.

Ezek közül a dácittufa feletti szervesanyag-tartalmú, lazán kötött, széteső, morzsalékos, agyagos, kavicsos homokban–homokkőben előforduló ércesedés (4. ábra) bizonyult műrevalónak. Finomszemű frakciója homokot, változó mennyiségű agyagot, kőzetlisztet és tufigén törmelékanyagot tartalmaz. Jellemző agyagásványa az illit–Ca-montmorillonit (HEGYI 1982). A színképelemzési eredmények szerint az érces összletben néhol Zr és Ba dúsulása tapasztalható (HEGYI 1982). FAZEKAS & VINCZE (1984) vizsgálatai szerint az urán a csökkenő szemcsemérettel dúsul: a 0,125 mm-es frakció ötször-tízszer több uránt tartalmaz, mint az 1,0 mm-es frakció (5. ábra). A produktív összlet karbonáttartalma alacsony (átlag 0,2 %).

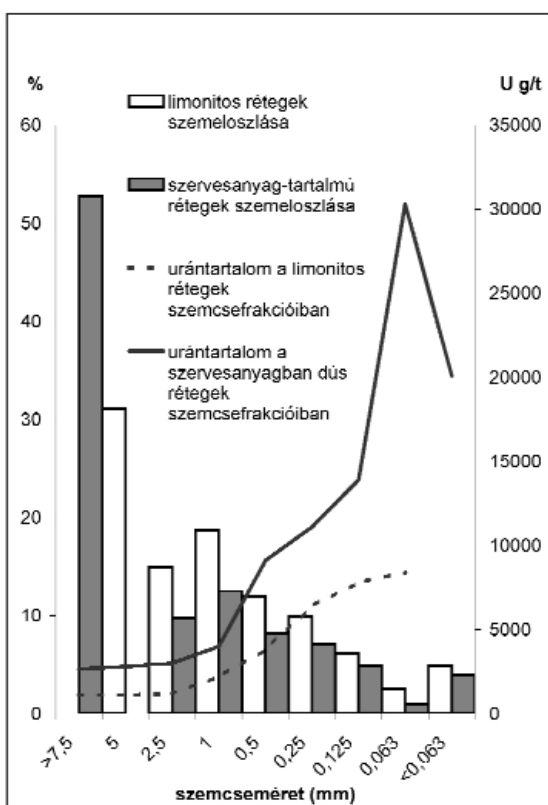
Az összlet különböző mértékű oxidációja eltérő limonit-tartalmat és színt eredményezett. A magas szervesanyag-tartalmú rétegek kivételével az uránérc-tartalmú rétegek erősen oxidáltak — $Fe^{2+} \approx 0,4\%$, $Fe^{3+} \approx 2\%$ —, ennek megfelelően az ércesedést is magas oxidációs fokú U-oxid és -hidroxid ásványok jellemzik. A nehézásvány frakció röntgen-pordiffrakciós felvételein csak a fő összetevők, mint a vas-oxid-hidroxidok és a rutil-ilmenorutil adtak jól értékelhető vonalintenzitást, a további gyakori, de halvány diffúz vonal FAZEKAS & VINCZE (1984) szerint az uránásványok gyenge kristályosodottságára utal. A lehetséges ásványfázisok magasabb oxidációs fokú urán-oxidok, -hidroxidok (pl. studtit, hejvit-metahejvit (haiweeite-metahaiweeite) és coffinit utáni oxidok) lehetnek.

A szürke, szervesanyag-tartalmú rétegek környezetében sárga, sárgásbarna, limonitos zóna figyelhető meg, ami az érchordozó összlet jellemző sajátossága. FAZEKAS & VINCZE (1984) radiográfiai felvételei szerint az urántartalom általában szórt, de található nagy urántartalmú (>10%) szemcsék is, amelyek ércásványokkal átszótt fekete, szenes aleurolitok. Ennek köszönhető, hogy a nehézásvány-leválasztással 5–10-szeres(!) dúsítás érhető el. A fonalas–szalagos szövetű urán-oxidok környezetében megjelenő framboid bakteriopirit kristályok lokális, organikus eredetű reduktív környezetet jelölnek. Mindebből FAZEKAS & VINCZE (1984) reduktív közegben végbement szingenetikus uránércesedésre következtetett, de nem tudták megállapítani, hogy az a permi vagy a miocén üledékképződés során zajlott-e le. Az érces aleurolitok viszonylagos állékonyaságából, keménységéből inkább permi ércesedés áthalmozódását valószínűsítették. Az ércesedés a magas szervesanyag-tartalmú képződményhez kötődik, de nem minden magas szervesanyag-tartalmú réteg érces, ezért az organikus szén és az U-tartalom közötti korreláció összességében alacsony.



4. ábra. Részlet a Dinnyeberki Db-46 jelű fúrás érces szakaszáról. A papírcímkék a mért gamma intenzitást (cps) jelölik. BALOGH Zoltán felvétele, a WildHorse Energy Hungary Kft. engedélyével

Figure 4. Drill cores from the mineralized horizon of the borehole Dinnyeberki Db-46. Labels indicate the gamma-ray intensity (cps). Photo of Zoltán BALOGH, licensed by WildHorse Energy Hungary Kft.



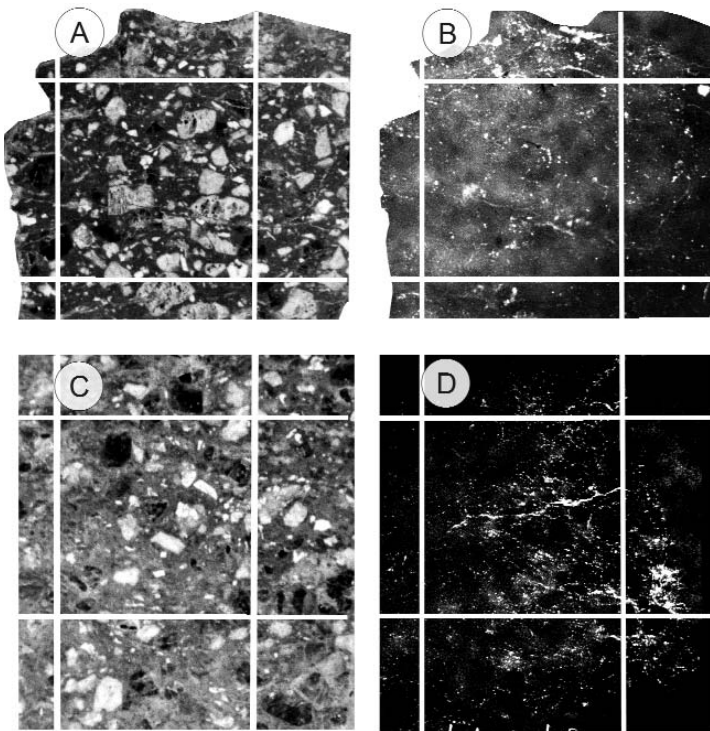
5. ábra. A szemcseméret és az urántartalom összefüggése a Dinnyeberki Db-5 jelű fúrás érces rétegeiben; FAZEKAS & VINCZE (1984) adataiból szerkesztve

Figure 5. Correlation of the grain size and the uranium content in the mineralized beds of borehole Dinnyeberki Db-5; plotted from the data of FAZEKAS & VINCZE (1984)

A kavicsok zömét a 30–60 mm-es mérettartományba esők adják, ezek tartalmazzák az összes urán 20%-át. A legmagasabb urántartalom a riolit-melariolit (Gyűrűfüi Riolit) és a bazalt (Mecsekjánosi Bazalt) kavicsokban mérhető (max. 430 g/t), a homokkövekben max. 40 g/t, a gránitokban max. 20 g/t. A dúsulás általában a kavicsok bekérgezőseként, vagy a kavicsok belsejébe hatoló finom repedések mentén található (6. ábra).

Az érces képződmény harántolási vastagsága 0,5–3,5 m között változik. Átlagos porozitása 15–20%, urántartalma 20–6780 g/t közötti, a számított átlagérték 310 g/t. (A 2008. évben a WildHorse Energy által mélyített Db-46 jelű fúrásban 20 600 g/t csúcserték is előfordult, de ez már a kísérleti perkoláció utáni állapotot jellemzi.) HARSÁNYINÉ (1988) számításai szerint az ipari ércvagyron sokszögelési módszerrel 13 305,7 t (18 048,8 fém-kg), számtani közép-arányos módszerrel 13 597,1 t (17 676,2 fém-kg). A kezdeti mérések szerint a finomszemű frakció ércében fennállt a Ra/U egyensúly, az érces kavicsok többségében Ra-túlsúly mutatkozott. Az izotóparányok és az oxidációs viszonyok alapján jelenleg is intenzív kilúgzási és áthalmozódási folyamatok játszódnak le. FAZEKAS & VINCZE (1984) vizsgálata szerint az U több mint 90 százaléka hat vegyértékű, azaz lazán kötött, mobilis állapotú. A permis ércesedésből történt áthalmozódásra utal szerintük a legnagyobb U-tartalomhoz tartozó alacsony U^{4+} érték (3–6%) és az enyhe negatív korreláció, valamint a szervesanyag és az U^{4+} negatív korrelációja.

Az ércesedés korának meghatározásához a Dinnyeberki



6. ábra. Riolitkavicsok felületi csiszolatának fényképe (A, C) és autoradiográfias felvétele (B, D). (FAZEKAS & VINCZE [1984] felvétele, a háló osztása ~1 cm)

Az uránásványok finom hintésként fordulnak elő, helyenként követve a folyásos szerkezetet és a repedezettséget

Figure 6. Photos of polished sections (A, C) and autoradiography (B, D) of rhyolite pebbles. (Photos of FAZEKAS & VINCZE [1984], grid spacing is ~1 cm)

The uranium minerals are finely disseminated, following the flow structure and fracturing in some places

Db-3 fúrás 5 ércmintájából ólomizotóp-összetétel meghatározást végeztek Leningrádban (Nyevszkaja Ekszpegyicija) izotóp-színkép módszerrel, a Mecseki Ércbányászati Vállalat Radiokémiai Laboratóriumában pedig az U-Th-Ra izotóparányt határozták meg (SEBESSY L.) alfa-spektrometriás módszerrel (FAZEKAS & VINCZE 1984). Az utóbbi vizsgálatot a Büt-11 jelű fúrás (MÁFI) 3 ércmintáján és 11 db érces kavicson is elvégezték. Az eredmények alapján FAZEKAS & VINCZE (1984) az első ércesedés korát 20 millió évnél találta, amelyet további áthalmozódásos dúsulás követett 15–11 millió éve, de felhívják a figyelmet arra, hogy a permi homokkőből történt lepusztulás esetén a „törmelékeny” uránásványok nagyobb radiogén ólomtartalma is okozhatta az idősebb koreredményt.

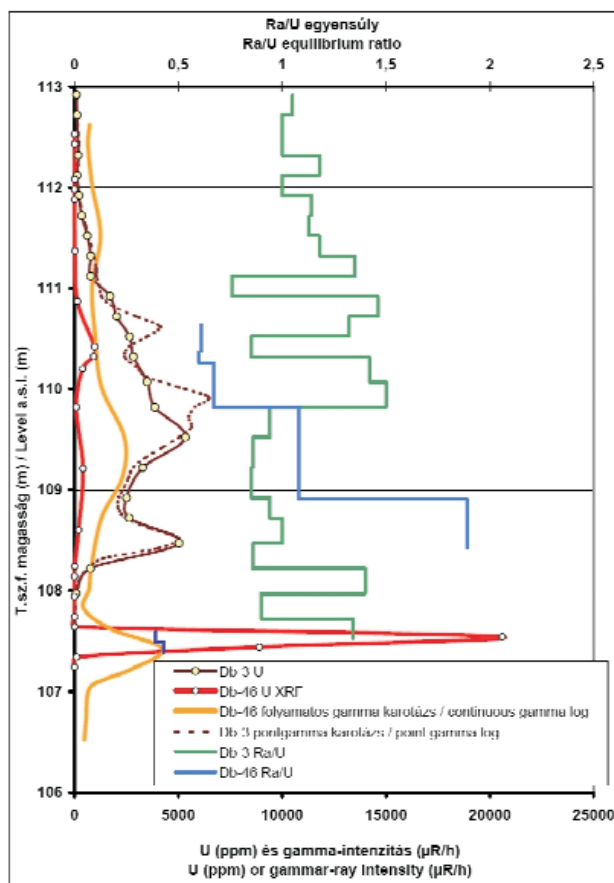
A Ra/U egyensúlyra vonatkozó újabb adatokat (7. ábra) a korábbi Db-3 fúrásról 6,8 m távolságra lemélyített Db-46 jelű (WHE) fúrás szolgáltatotta 2008-ban (BARABÁS 2009).

A két fúrás között jelentős különbségek mutatkoznak az ércesedés paramétereiben és jellegében. A Db-46 jelű fúrásban 1 méternyi meddő, valamint további 1 méternyi, gyengén ércesedett szakasz választja el egymástól a két érces szintet, míg a Db-3 jelű fúrásban az ércesedés 3,7 méteren keresztül megszakítatlan. Továbbá a Db-46 jelű fúrás alsó érces szakasza olyan mélységben található, ahol a Db-3 fúrásban már nem volt érc.

A nyolcvanas években az ércesedést összességében egyensúlyi állapotúnak találták (FAZEKAS & VINCZE 1984). A Db-3 jelű fúrás érces szakaszán az egyensúlyi hányados 0,76 és 1,5 között volt, rendszertelen eloszlásban. Ezzel szemben a Db-46 jelű fúrás alsó érces szakaszában a gamma-spektrometriai elemzés erősen az urán irányába eltolódott radioaktív egyensúlyi helyzetet mutatott ($Ra_{Ueq}/U = 0,39$). A fúrás felső érces szakaszában ellenkező helyzet alakult ki, vagyis a radioaktív egyensúly a rádium irányába toldott el, a hányados elérte az 1,89-es értéket is.

Az ércesedés teleptípusa

A dinnyeberki ércesedés DAHLKAMP (1993) osztályozási rendszerében a homokkő típusú telepek kategóriájába tartozik. Meglehetősen sajátos kifejlődésű, de besorolható az alaphegység-felszí-



7. ábra. A Db-3 és Db-46 jelű fúrások gamma-karotázás és laboratóriumi elemzési eredményei (BARABÁS 2009 nyomán)

Figure 7. Gamma-ray downhole log and core sample laboratory test results of the boreholes Db-3 and Db-46 (BARABÁS 2009)

ni üledékszállítási csatornában létrejövő *Chinle*-altípusba. A szervesanyag-tartalmú rétegek U-tartalma rendszerint nagyságrendekkel nagyobb a környezeténél, de urán-szegély zónák is előfordulnak benne, amiből FAZEKAS & VINCZE (1984) az ércesedés „lencses–foltos” telepalkatára következtetett.

Vízföldtani viszonyok

A terület a Gyűrűfői-völgy és egy ÉÉK-i oldalvölgy találkozásánál helyezkedik el, a fővölgyben állandó, a mellékvölgyben időszakos vízfolyással. A felszínközeli vizek áramlása is a völgytalp és a völgy lejtése irányába mutat. A morfológiából adódóan a nyugati-mecseki regionális beszivárgási területhez tartozik, az ún. középvonali régióhoz. A pannóniai (s.l.) képződmények vizére hatást gyakorló lokális vízáramlási rendszerek tekintetében lokális beszivárgási terület vagy átmeneti zóna. A mélyebb (miocén és alaphegységi) vizekre horizontális víz-áramlás jellemző, amit a különböző képződmények majd-

nem teljesen azonos nyugalmi vízszintadatai bizonyítanak; a terület tehát vizét távolabbról, magasabb térszínről, D–DNy-i irányú áramlással kapja. A legalul települő miocén és az alaphegységi képződményekben a potenciálfelület kis esése és a rendkívül alacsony k-tényező miatt a vízmozgás gyakorlatilag elhanyagolható (FÖLDING & STEFÁN 2004).

A rétegsor hidrogeológiai jellemzése

A lösz vízvezető-képessége irányonként változó: vertikálisan viszonylag jó, horizontálisan gyengébb.

A lösz alatt elhelyezkedő homokos, homokköves, helyenként agyagos lencsákat tartalmazó felső-pannóniai üledékek talajvizet tárolnak, utánpótlást a beszivárgó csapadékvízről nyernek. Vízvezető- és víztároló-képességük valamivel magasabb, mint a fekü és fedő képződményeké. A tágabb környezetben több vízkút is települt ezekre a rétegekre. Szivárgási tényezője $1,6 \times 10^{-6}$ m/s (II. táblázat). A képződmény víztározónak minősíthető, vize Ca^{2+} , Mg^{2+} HCO_3 -os.

II. táblázat. Különböző módszerrel és különböző időben nyert permeabilitás, vízszállító-képesség és szivárgási tényező értékei a dinnyeberki ércesedés területén

Table II. Permeability, water transport capacity and coefficient of permeability data obtained with different methods and at different times from the area of Dinyeberki ore deposit

	Fúrászám	Vizsgált réteg	Módszer	Permeabilitás D	Vízszállító képesség T [m ² /s]	Szivárgási tényező K [m/s]
MSZKFI 1982	Db-8, 27,5 m vert.	érces	laboratóriumi	0,0063		
	Db 8, 27,5 m hor.			0,0056		
	Db-8, 27,9 m hor.			1,511		
	Db 8, 27,95 m vert.			0,0678		
	Db-8, 27,95 m hor.			0,120		
TÓTH L. 1984	S 1	érces	nyeleteses	0,001		
			<i>Kusakin</i>	0,012		
			visszatöltődéses	0,006		
			<i>Jacob</i>	0,01		
		alaphegység	laboratóriumi	0,000001		
1985	P 10	érces	próbaszivattyúzás			4,3E-07
1986	P2-P13	érces	sózás			2,6E-05
TÓTH A. 1987	S-1	érces	kísérlet			1,5E-04
			számítás			1,0E-04
ÚNYI 1987		érces	visszatöltődéses			3,0E-07
ÚNYI 1988	P 10	érces	visszatöltődéses			3,5E-07
	P-2 - P-13		sózásos			2,6E-05
ÚNYI 1989	S 1	érces	<i>Jacob</i>			3,5E-08
			több lépcsős			3,5E-08
1997	S 1	érces	visszatöltődéses			1,4E-07
FÖLDING & STEFÁN (2004)	N 2	alaphegység				2E-06
		pannóniai homok	<i>Theis & Jacob</i>		8,27E-06	1,65E-06
		érces	<i>Theis & Jacob</i>		8,59E-07	2,14E-07

A teljes miocén törmelékes összlet gyengén vízvezetőnek és tározónak minősíthető. A szivárgási tényező számított értéke a vízzáróság határát súrolja (II. táblázat). Vízföldtani szempontból három egységre bontható:

A pannóniai homok alatti durvatörmelékes (agyagos homok, kavics, homokkő) összletre, amelyet két eltérő réteg épít fel: a miocén összlet felső harmadának alján lencsékben vagy az alaphegység felszínén települő tufás–agyagos réteg, amely gyakorlatilag vízzáró, és a miocén összlet alsó harmadának tetején egy agyagos, magas szervesanyag-tartalmú réteg, amelyen belül, illetve közvetlenül a fölött alakult ki az ércesedés. Utóbbi egy alaphegységi völgyet kitöltő vízzáró dácittufa eróziós árkában lerakódott, rosszul osztályozott törmelékes összlet. Keleti és nyugati irányban a vízzáró dácittufa határolja. Fedője gyakorlatilag vízzáró ($k = 10^{-8}$ m/s), rosszul osztályozott, agyagos törmelék. Feküje részben a vízzáró dácittufa, részben változó összetételű, de rossz vízáteresztő-képességű törmelékes üledék. Északi irányban az emelkedő alaphegységfelszín felé kiékelődik, attól vízzáró dácittufa és rossz vízáteresztő-képességű vagy vízzáró agyagos üledék választja el. Az érces összlet eredeti víztartalma 5%, átlagos porozitása 15–20%, permeabilitása 1–10 mD. Az átlagos effektív szivárgási tényező 10^{-7} – 10^{-8} m/s. Gyengén vízvezetőnek és tározónak minősíthető.

A miocén (kárpat) dácittufa összlet fúrás-hidrogeológiai mérések híján a maganyagvizsgálatok és analógiák alapján vízzárónak minősíthető.

A legelső miocén törmelékes összlet (az alapkonglomerátummal) gyengén vízvezető.

A miocén rétegek vize Na-Ca-(Ca-Na)-HCO₃-os.

Az alaphegységi képződmények ép állapotban gyakorlatilag vízzárók ($k = 10^{-9}$ – 10^{-10} m/s), töredezettségük mértékétől függően vízvezetők és víztározók. Az egykori aprózódási zónában (a felső 10–20 méterben) a *k*-tényező értéke: 2×10^{-6} m/s. Vízük Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ HCO₃-os.

A felszín alatti vízrendszerek

A lösz és a pannóniai képződmények vízföldtani egységet képeznek és talajvizet tárolnak, az utánpótlás közvetlenül a csapadékból származik. A pannóniai képződmények rétegvize nem reagált a miocén rétegvizek nyomásváltozásaira. A miocén képződmények alsó — vízzáró réteg alatti — része közös rendszert alkot az alaphegység repedésvizeivel. Ezt jelezte, hogy a 9017 számú alaphegységi fúrás kanalizálása közben az érces szintre szűrőzött fúrásokban is változott a vízszint, majd a perkolációs területen az érces fúrások szivattyúzása közben az alaphegységi megfigyelőfúrásban is vízszintsökkenés volt észlelhető. A perkolációs területen az érces réteg vizének több alkalommal elvégzett hosszabb idejű (2 hét – 1 hónap) termeltetése a talajvíz szintjében nem okozott észlelhető változást.

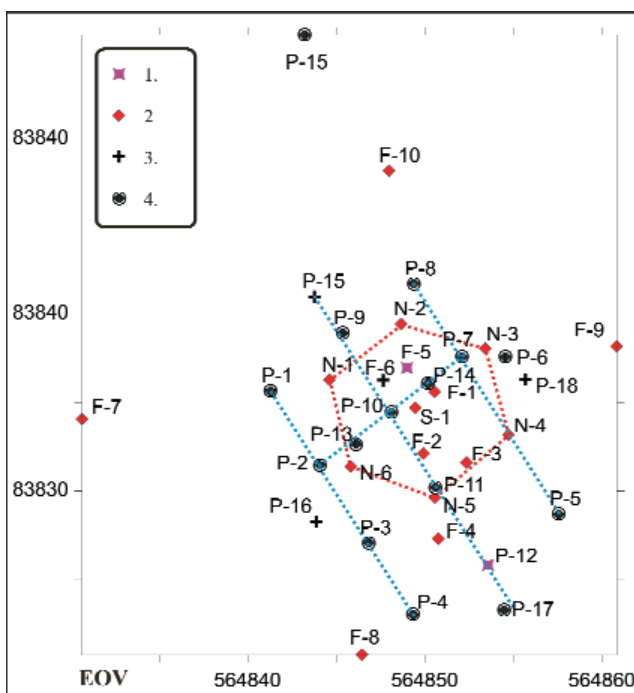
Az érces képződményben, amely a fedő irányában a felszíni vízfolyásoktól, illetve a talajvíztől és pannóniai rétegvíztől, a feké irányában az alaphegységi repedésvizektől, oldalirányban pedig a kiékelődés és többnyire tufával való érintkezés miatt az alaphegységi repedésvizektől és az egyéb

rétegvizektől elzárt — gyakorlatilag nincs vízmozgás. (A kompresszorozás során az alaphegység felé — kezdetben vitatott, majd bizonyított — vízáramlás indult meg [FÖLDING & STEFÁN 2001].) Dél felé horizontálisan lehetséges csak a gyenge vízáteresztő-képességnek megfelelő szivárgás, de vízutánpótlás hiányában ez elhanyagolható. Ennek a zárt vízföldtani rendszernek a következménye, hogy a 11–15 millió éves ércesedés máig fennmaradt — annak ellenére, hogy az urán 90%-a oxidált, mobilis állapotú. Továbbá ennek köszönhető, hogy a kísérleti perkoláció területén hagyott kénsavas oldat és annak megnövekedett urántartalma tíz év alatt sem hagyta el a szennyezett térrészt.

A kísérleti perkoláció módszerei és eredményei

FAZEKAS & VINCZE (1984) a Db-3 jelű fúrás ércanyagából két keverékintát állított elő. Desztillált vizes, majd négyszer 5 órán keresztül ismételt — 0,1 N H₂SO₄; 2 pH — kénsavas kilúgzás során a minták urántartalmának 40, illetve 54%-át sikerült kioldani, ami arra utalt, hogy a finomszemű frakcióból a felszín alatti kioldás eredményes lesz.

A kutatás időszakában felkért orosz szakértők (DUDUKALOV & POPOV 1982) által a sóoldatos kísérletekhez javasolt lineáris elrendezésű P jelű kútháló (8. ábra) 1986-



8. ábra. A dinnyeberki ércesedés központi területének fúrásai

A két szaggatott vonallal összekötött kutak a kezdeti sóoldatos kísérletek lineáris kúthálójának elemei, pirossal a hatszögös elrendezésű kísérleti perkolációs rendszer jelölt, középen az S-1 jelű szivókúttal. 1 – alaphegységre szűrőzött fúrás; 2 – érces rétegre szűrőzött fúrás; 3 – pannóniai képződményekre szűrőzött fúrás; 4 – sóoldatos kísérlethez mélyült fúrás

Figure 8. Boreholes in the central part of Dinnyeberki ore deposit

The wells connected by blue dashed lines are the elements of the linear well network of the initial brine tests. The red coloured wells along the circle are elements of the hexagonal experimental in situ leaching system, with S-1 production well in the middle. 1 – Well monitoring the pre-Cenozoic basement; 2 – Well monitoring the mineralized beds; 3 – Well monitoring the Pannonian formation; 4 – Well drilled for the brine test

ban készült el, majd 1987-ben valósult meg a kísérleti termelést szolgáló hatszöges elrendezésű rendszer. Utóbbi az N jelű (nyomó-) kutakból és az S jelű szívó- vagy termelő-kútból állt (8. ábra).

A lineáris kútháló besajtoló fúrásai az érctest alá 8 méterrel mélyültek. Öblítéshez KCl-os, KOH-os és keményítő-s folyadékot használtunk. A szűrőzést nem réteghatárra, hanem 50 gammás vágási határra korlátoztuk. Az oldat lejutását az alaphegységbe annak vízelárasztásával terveztük megakadályozni.

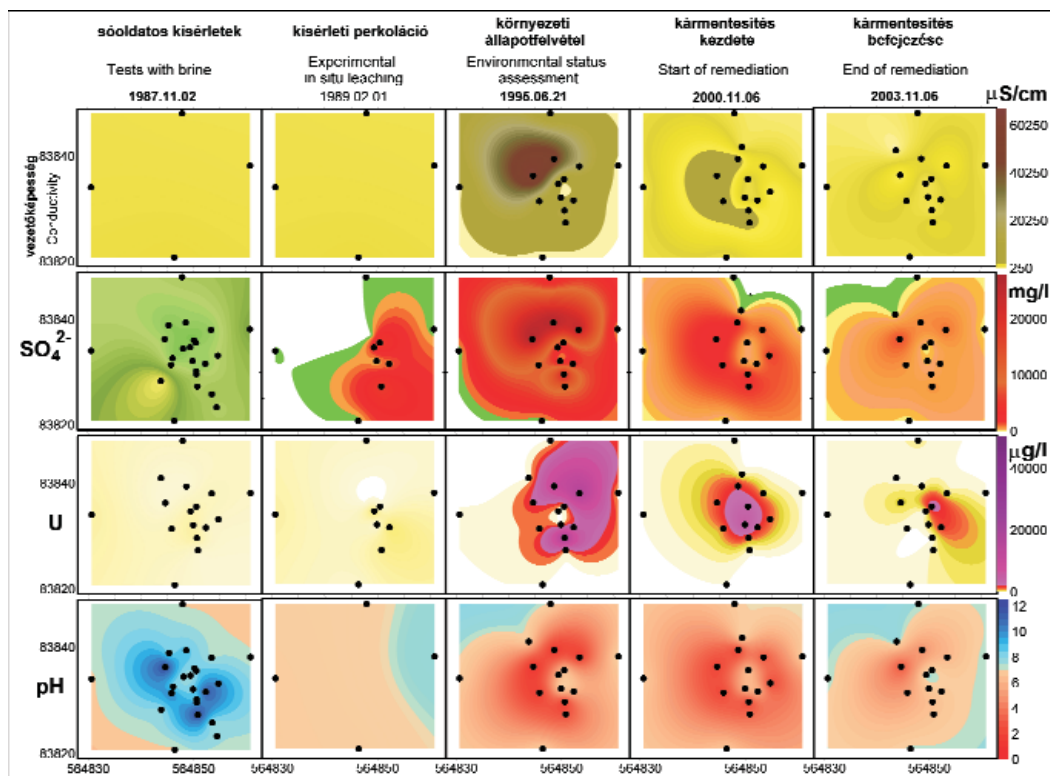
A kísérleti perkoláció alapkérdése a vízáteresztő-képesség. A szivárgási tényezőt és a permeabilitást többféle módszerrel határoztattuk meg és igen változatos eredményeket kaptunk (II. táblázat).

Az 1988. évi tisztavizes kísérletek során az N jelű nyomókutakon az egyensúly beálltáig 1,5 bar túlnyomást hoztunk létre. Ekkor a nyomókutak együttes nyelési hozama, illetve a közepesen mélyült S-1 szívókút hozama 2,1 l/perc (3 m³/nap) volt. A rétegvíz áramlási iránya délnyugatinak bizonyult. Az alaphegységi megfigyelőkút (F-5) termelés közbeni vízszintváltozásai arra utaltak, hogy csak a palást mentén alakult ki kapcsolat. A felső-pannoniai képződmények rétegvize nem reagált a miocén rétegvizek nyomás-változásaira.

A kísérletek szerint a földtani környezet nem kedvezett a perkolációnak. A szakirodalom alapján minimálisan szükséges 50 mD helyett a permeabilitás jellemzően 0,1–1 mD-

nak bizonyult, és kedvezőtlen tényezőnek bizonyult a fekvő vízzáró réteg hiánya is.

A kísérleti perkoláció technológiáját UNYI (1988) és FEKETE (1988) foglalta össze. A savazás 1988. 06. 23-ától 20 g/l töménységű oldattal indult. Négy hónapon keresztül ezzel a töménységgel folyt a besajtolás. Az áteresztőképesség növekedett, a nyelési hozam kétszeresére emelkedett, miközben a kiemelt oldatmennyiség nem változott. A nyelési nyomást 0,3–0,5 barra kellett emelni, így a nyomókutak együttes nyelési hozama 1,5–1,8 l/perc (2,2–2,6 m³/nap) változott és ehhez igazodott az S-1 hozama is. A produktív oldat U-koncentrációja 3 hónap múltán kezdett emelkedni, a kezdeti 20–90 µg/literről a kísérlet leállításáig 25 000 µg/literre. A megfigyelőkutak mintázása szerint a savas oldat az alaphegységbe és a fedőhegységbe nem jutott át. Az elterjedés a produktív rétegekben a nyomókutaktól számított 2,5 méternél nagyobb volt, de a 6 méteret érte el. Az oldat szivattyúzással került három fogadótartályba, majd a szorpciós oszlop 1 m³ Varion AP ioncserélő gyantáján keresztül (2–3 m³/óra sebességgel) a 12 m³-es savkezelő tartályba ömlött. Tömény kénsav hozzáadásával — az előírt koncentráció beállítása után — az oldat a táptartályokba, majd gravitációsan a hat nyomókútból jutott vissza. Hogy az oldat ne szökhesen az érces kontúrunkon kívülre, gyenge depressziót kellett létrehozni. Ennek érdekében készült a hexagonális kútelhelyezés is. Másfélszeres túlnyomással az S-1 szívókútból kitermelt 2,1 l/perc (3 m³/nap)



9. ábra. A vezetőképesség, a SO_4^{2-} -ion és U-tartalom, valamint pH érték területi megoszlása a dinnyeberki ércesedés központi területén a különböző munkafázisok idején

A fekete pontok az aktuális adatokat szolgáltató fúrásokat jelölik. A koordinátaháló EOV rendszerű

Figure 9. Distribution of the conductivity, the SO_4^{2-} and U-content and the pH value on the central part of the Dinnyeberki ore deposit during the different work phases

Black dots indicate the wells providing the actual data. EOV projection system

hozamánál alakult ki egyensúly. A 2,5 méterre lévő F–4-es megfigyelőkútban a pH 10,1-ről 3,6-ra csökkent (9. ábra). (A pH kezdeti magas értéke a korábbi sózásos rétegvizsgálatokból eredt.) Az U-koncentráció huszonnyolcszorosára, a vezetőképesség négyszeresére növekedett. Az érces szintre szűrőzött P–4-es kútban semmiféle változás nem jelentkezett. Az alaphegységre és a fedőképződményekre szűrőzött kutakban érdemleges változás nem következett be. Az S–1 kút kezdetben Ca-Mg-hidrokarbonátos vize fokozatosan Ca-szulfátossá alakult. Az F–4-es kút kezdetben nátrium-karbonátos, az utolsó vízmintában már kalcium-szulfátos volt. A belső megfigyelőkutakban nem történt változás. A korábbi kísérletek alapján feltételezett vízáramlás a feké felé nem indult meg. Az összes koncentrált kénsavfelhasználás — pontos adatok hiányában — 7 tonnára becsülhető.

A terület felhagyása

Rekultivációs terv (KOCH et al. 1988) határozta meg a perkolációs munkák befejezésének menetét. A technológiai leírás szerint „a savazási munkák befejezése után a savval átitatott köztömeget tiszta vízzel kell átmosni, hogy a rétegekben káros mennyiségű, a környezetet (felszín alatti vizeket) szennyező, illetve az esetleges későbbi savazási (oldási) munkákat károsan befolyásoló savmaradékokat eltávolítsuk” az alábbi határértékek eléréséig: (III. táblázat).

III. táblázat. A rekultivációs tervben meghatározott határértékek

Table III. Parameter limits targeted by the remediation plan

U	2000 µg/l
pH	5–7
összes só	4000 mg/l
összes lebegő anyag	200 mg/l
összes I'e	20 mg/l

Az 1989. évi gazdaságpolitikai változás és a bányabezárások fenyegető híre a kísérleti perkoláció megszakítására készítette a Mecseki Ércbányászati Vállalatot. A környezetvédelmi utómunkálat (mint pl. a savazott rétegek átöblítése) elmaradt.

Az adalékmentes iszap a fúrástechnológiai előírások szerint (KOCH et al. 1988) zárt rendszerben (vezércső–zagyatároló) keringett, a palástcementezés bentonitos gélcementtel történt, gázolaj fűrészi célból nem került felhasználásra.

A kísérleti perkoláció környezeti hatásai

A kísérleti perkoláció befejezése után hat évvel, 1995-ben végeztünk először állapotfelmérést (KONRÁD 1995). Első lépésben a perkolációs terület fúrásaiból és a néhány kilométer távolságban fellelhető kutakból került sor víz-minta-gyűjtésre.

Az első elemzési eredmények azt mutatták, hogy — az U-tartalom az érces megfigyelőkutakban nagyságrendekkel magasabb lett 1995-re, mint a perkoláció előtt volt (9. ábra). Ez az érték a nyomókutakban 1 000 és 17 000 µg/l között változott;

— a rendkívül magas SO_4^{2-} (a nyomókutakban 7000–28 000 mg/l, az érces megfigyelő kutakban 1500–12 000 mg/l) és az összes oldott sótartalom, valamint a nyomókutak 1 körüli pH-ja és a szabad sav jelenléte azt mutatta, hogy a kioldási folyamatok a perkolációs tevékenység után is folytatódtak;

— az alaphegységi (F–5) és a pannóniai vizek (F–6, P–15), a távolabbi érces Dbg–23, Dbg–68 és Kacsóta B–2 jelű fúrások, valamint a gémeskút vize nem szennyeződött a magas só- és urántartalmú oldatokkal;

— az 1989. évi adatok alapján megállapítható volt, hogy a szennyeződés frontja déli irányban (az F–4 kút felé, ahol a magas szulfáttartalom jelzi a szennyezést) 2,5–6 m-rel túllépett a perkolációs terület kontúrján.

A vízvizsgálatokat követő, 1995. évi kísérleti kompresszorozás folyamán

— a nyomókutakban megszűnt a szabad savtartalom, jelentősen csökkent az ΣFe , SO_4^{2-} , az oldott sótartalom, növekedett az U-tartalom és a pH értéke;

— az érces megfigyelőkutakban csökkent a pH, kis mértékben emelkedett az U- és a szulfáttartalom;

— valószínűsíthető volt, hogy a nyomókutak környezetének szennyezett víztömege került az F–jelű fúrások hatáskörébe az intenzív termeltetés hatására;

— a nyomókutakban növekedett a pH (2,8–3,2 közötti értékre);

— a megfigyelőkutak U-tartalmában kismértékű emelkedés történt (2–4 mg/l), a nyomókutak magas U-tartalma (7–42 mg/l) a kompresszorozás befejezésekor mért értékeket tükrözte;

— az N–1, N–3, és N–4 jelű kutakban csökkent, a többi nyomókútban állandósult, ill. kis mértékben növekedett a szulfáttartalom.

A központi S–1 kút hosszú idejű termeltetése mellett vizsgáltuk a többi kút vízszintváltozását. Hasonlóan a korábban tapasztaltakhoz, a pannóniai képződményekre szűrőzött kutak vízszintje nem változott. Az alaphegységre szűrőzött F–5 kút vízszintje kis mértékben csökkent, ami a korábban feltételezett (UNYI 1987) hidraulikai kapcsolatot bizonyította. Az F–8, F–9 és F–10 jelű kutak vízszintje — hasonlóan a többi érces rétegre szűrőzött kúthoz — csökkent.

A tisztító kompresszorozás és az annak során vett víz-minták vizsgálati eredményei szerint (FÖLDING & STEFÁN 2004)

— a vizsgált területen visszamaradt oldatok rendkívül szennyezetté váltak:

U_{\max}	=	42 mg/l
$\text{SO}_4^{2-}_{\max}$	=	16 255 mg/l
Bm (bepárlási maradék) $_{\max}$	=	26,3 g/l
pH_{\min}	=	2,8
fajlagos vezetőképesség $_{\max}$	=	13 320 µS/cm;

— a pannóniai és alaphegységi vizek nem szennyeződ-

tek a magas sótartalmú oldatokkal — noha az alaphegységi képződmények vizének ionösszetételében kis mértékű változás ment végbe;

— a szennyezett víz a legmagasabb koncentrációban a nyomókutak körül helyezkedett el, amíg a központi rész kevésbé szennyeződött, azaz gyakorlatilag semmilyen irányban nem történt számottevő áramlás; az F-7, -8, -9, -10 kutak környezetébe nem jutott el a magas U- és sótartalmú oldat;

— a szennyeződés horizontálisan a központi S-1 kút körül húzható, 10–12 m sugarú körön belül, vertikálisan pedig az érces réteg szintjében maradt.

A rekultiváció szempontjából a legkedvezőbb folyamat az lett volna, ha az oldat annyira felhígul, széteszik és — a karbonáttartalom segítségével — közömbösödik, hogy összetétele megfelel az előírásoknak. Az állapotfelmérés szerint nem ez, hanem a második legkedvezőbb helyzet állt elő: az oldat helyben maradt, így egyszerűen eltávolítható volt.

A kármentesítés

Az eredeti (kísérleti perkoláció előtti) állapot jellemzéséhez nem álltak rendelkezésre adatok. A legkorábbi vízminőség-vizsgálatokra már a sóoldatos kísérletek után került sor. A különböző vízföldtani képződmények érin-

A korábbi beavatkozások felmérése és értékelése (LENDVAI 1995, KONRÁD 1995, KONRÁD et al. 1999) után a kármentesítés 1999. szeptember 14-én kezdődött meg, és 2002. október 8-án fejeződött be. Ennek során tiszta víz besajtolásával öblítettük át a szennyezett rétegeket.

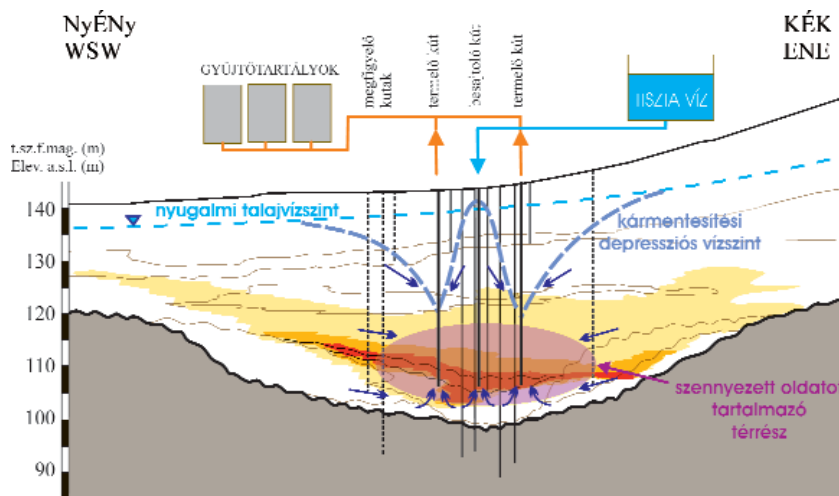
A kármentesítő rendszer részei

- az S-1 és a hat darab N jelű kút,
- az öblítővíz ellátását biztosító ásott kút és
- az érces rétegre, az alaphegységre és a fedő összletre kialakított megfigyelőkutak (F-1–10; P-15) voltak.

A kármentesítés elvi szelvényét a 10. ábra szemlélteti.

A kármentesítés első évében (1999-ben) csak szivattyúzás folyt. A rendszer hatásfokának növelése érdekében 2000–2001-ben tiszta vizes besajtolásra álltunk át. A besajtoláshoz használt víz a közeli gémeskútból származott. Az alacsony, napi 2–3 m³ kapacitást a rendkívül alacsony áteresztőképesség okozta, ami a kármentesítés hatásfokát is jelentősen rontotta. Ezért 2002-ben kalcium-karbonáttal telített „mészvíz” besajtolásával kísérleteztünk. A felhasznált mészvíz Ca-koncentrációja 1,31 g/l, pH-ja 12,65 volt. Ennek eredményeképpen növekedett a műszaki beavatkozás hatékonysága, és az utólagos környezeti kockázat is csökkent.

A Dél-Dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőség határozatában az alábbi határértékek elérését írta elő: (IV. táblázat)



10. ábra. A dinnyeberki kísérleti földalatti perkolációs terület kármentesítésének elvi vázlata (FÖLDING & STEFÁN 2004)

Figure 10. Draft chart of the remediation of the Dinnyeberki experimental in situ leaching site (FÖLDING & STEFÁN 2004)

telen vizének minőségi jellemzésére a kutatás során mélyült Db-3, -5, és -7 jelű kutak 1982. évi adatait használtuk fel. A pannóniai képződmények és az alaphegység vizének vizsgálatára — mivel bebizonyosodott, hogy vízminőség-változás pár éves intervallumon belül nem történt — a megfigyelésre kialakított kutak (F-5, F-6) 1987. évi mintázási eredményeit, illetve ha lehetséges volt (a P-15 és 9017 számú fúrások esetében) a sózás előtti állapot eredményeit dolgoztuk fel (FÖLDING & STEFÁN 2004).

IV. táblázat. A rekultivációhoz előírt határértékek

Table IV. Limit values specified for remediation

U _{szm}	400 µg/l
Átlagos vezetőképesség	2000 µS/cm
pH	5–7

A kármentesítés folyamán az N jelű kutak U_{term} tartalma exponenciálisan csökkent. A 2001. év végére 1 mg/l alá esett, 2002 végére az előírt 400 $\mu\text{g/l}$ -nél már alacsonyabb értékeket mértünk (kivéve az N-1 jelű kutat, ahol az 750 $\mu\text{g/l}$ maradt). A tisztítás során a gyűrű körül elhelyezkedő F-7 – F-10 jelű kutakban a koncentráció mindvégig 100 $\mu\text{g/l}$ U_{term} alatt maradt, tehát a szennyeződés horizontálisan nem terjedt szét. A pannóniai képződményekre szűrőzött F-5 és P-15 kutakban, valamint az alaphegységre szűrőzött F-6 kútban és a negyedidőszaki képződményekben mélyült gémeskútban a kármentesítés során nem emelkedett a koncentráció, azaz az U_{term} értékek alapján a szennyeződés vertikális irányban sem terjedt tovább. A $U_{term} < 400$ $\mu\text{g/l}$ kármentesítési szennyezettségi határértéket az F-1 (2370 $\mu\text{g/l}$), az F-2 (1400 $\mu\text{g/l}$) és az F-3 (1700 $\mu\text{g/l}$) kút esetében nem értük el.

A kármentesítés első szakaszában a fajlagos vezetőképesség a szennyezett érces rétegben (az N jelű kutakban) 5000–10 000 $\mu\text{S/cm}$ között volt, a 2000. év végére 4000 $\mu\text{S/cm}$ alá csökkent, majd 2002-re elérte a 2000 $\mu\text{S/cm}$ határértéket.

A nem érces — pannóniai rétegekre és az alaphegységre — szűrőzött kutakban a kármentesítés hatására nem változott számottevően a fajlagos vezetőképesség. Értéke 0,5–1 $\mu\text{S/cm}$ között ingadozott.

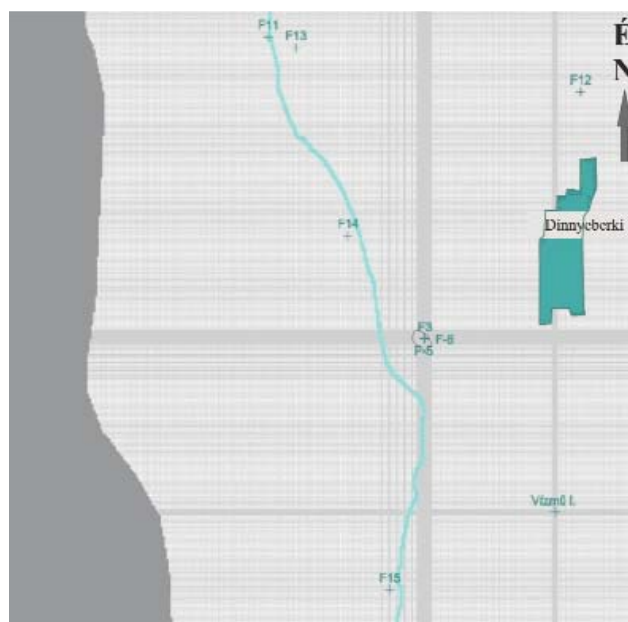
A pH értéke az N jelű kutakban a 2000. év végén kezdett emelkedni, a kezdeti 3,5–4-ről 7-re. A 2002-ben végzett mésztejes besajtolás hatását így egyértelműen nem lehetett kimutatni, hiszen egyes kutakban az erőteljes növekedési tendencia jóval korábban megindult.

A közeg rendkívül alacsony átérésztőképességére, így a szennyeződés helyben maradására utalnak a pH értékek is. A kármentesítés elején ugyanis a korábbi nyomókutakban rendkívül alacsony pH értéket mértek, ugyanakkor a hatfúrásos gyűrűn belüli érces megfigyelőkutakban magasabb, 4–5-ös pH értékeket találtak. Tehát a szennyezés óta eltelt több mint 10 év alatt sem egyenlődött ki a pH ezen a néhány méter átmérőjű területen belül sem. A kármentesítés az előírt 5–7 határértéket egyetlen esetben nem teljesítette: az N-1 jelű kútban a pH 3–4 volt a munka befejeztével.

Vízföldtani modellezés

2011-ben numerikus vízföldtani modell felállításával és alkalmazásával a visszamaradt szennyeződés esetleges terjedésének vizsgálatát is elvégeztük, kiemelt figyelemmel a Dinnyeberki község ivóvízellátását biztosító vízmű utánpótlódási területére. (Az ércesedéshez a Dinnyeberki községi vízműkút található a legközelebb, légvonalban mintegy 1300 m-re. Déli irányban még távolabb, Kacsótán található ivóvízkutak.)

A modellezéshez a Processing Modflow Pro 7.0.34 programot használtuk. A modellezett területet a 11. ábra mutatja. (A modell sarokponti koordinátái: EOY Y: 562 650–566 000; X: 82 350–85 550 [3350×3200 m]). A hidrodinamikai modell rácshálójának cellakiosztása 335×320 db, az alap rácshálózat 10×10 méteres.



11. ábra. A dinnyeberki ércesedés és környezete vízföldtani modelljének rácshálózata a felszíni vízfolyás, a figyelőkutak és a dinnyeberki vízkút feltüntetésével

Figure 11. Hydrogeological model grid of the Dinnyeberki ore deposit and its surroundings, indicating the surface water stream, the monitoring wells and the Dinnyeberki water well

Az ércencse közvetlen környezetének a földtani felépítése a részletes fúrásos feltárás alapján jól ismert, a tágabb környezet a KMRK (komplex mélységi radiometriai kutatás) és egyéb kutatófúrások alapján szerkeszthető meg, a modell peremei felé egyre kevesebb információval. A földtani feldolgozás alapján elkészített vízföldtani modell 7 rétegű (V. táblázat és 12. ábra).

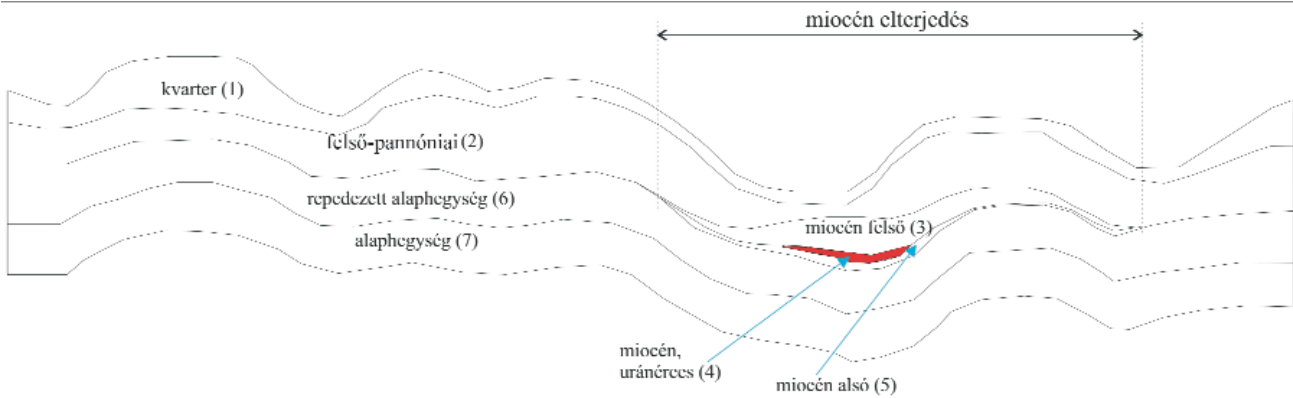
A horizontális és vertikális szivárgási tényezőre a területen végzett nagyszámú hidrodinamikai vizsgálat eredményeit, a porozitásértékekre ezen túlmenően szakirodalmi adatokat (CSICSÁK 1999) vettünk figyelembe.

A szivárgáshidraulikai modellben használt szivárgási tényező (k) és effektív porozitás értékeket a VI. táblázat tartalmazza.

V. táblázat. A vízföldtani modell rétegei

Table V. Layers of the hydrogeological model

Modell-réteg	Képződmény	Réteg rövid jellemzése
1.	negyedidőszak	löss, agyag
2.	felső-pannóniai (Somlói F.)	homok, agyagos homok
3.	miocén törmelékes (Szászvári F.)	kavicsos homok, agyagos homok, kavicsos agyag
4.	uránérces, miocén törmelékes (Szászvári F.)	magas szervesanyag-tartalmú kavicsos homok, kavicsos agyag
5.	miocén törmelékes (Szászvári F. és Tari Dácittufa)	kavicsos homok, agyagos homok, kavicsos agyag, dácittufa
6.	repedezett alaphegység (Korpádi, Cserdi F., Gyűrűfű F. és Mórággyi K.)	repedezett homokkő, riolit, gránit
7.	alaphegység (Korpádi, Cserdi F., Gyűrűfű F. és Mórággyi K.)	homokkő, riolit, gránit



12. ábra. A vízföldtani számítások során a Modflow programban alkalmazott földtani modell felépítése (Ny-K-i szelvény az ércesedésen keresztül)
 Figure 12. Structure of the geological model used in the Modflow software during the hydrogeological calculations (W-E section across the ore deposit)

VI. táblázat. A szivárgáshidraulikai modellben használt értékek

Table VI. Values used in the filtration hydraulic model

Modellréteg	Képződmény	Szivárgási tényező		Effektív porozitás n_e
		horizontális k_x (m/s)	vertikális	
1.	kvarter	1×10^{-4}	1×10^{-5}	0,1
2.	felső-pannóniai	5×10^{-5}	5×10^{-6}	0,1
3.	miocén (felső)	1×10^{-6}	5×10^{-7}	0,5
4.	miocén szerves (U-tartalmú)	5×10^{-7}	1×10^{-7}	0,5
5.	miocén (alsó)	5×10^{-7}	1×10^{-7}	0,5
6.	alaphegység (repedezett)	5×10^{-7}	1×10^{-7}	0,5
7.	alaphegység (Cserdi, Mórággyi)	1×10^{-8}	1×10^{-8}	0,1

Meghatároztuk az ércesedés területéről induló vízrészecskék terjedési sebességét és útvonalát (áramképét) több idő-intervallumra és valamenynyi rétegre. Ezek közül az ércelencséből induló részecskék 100 éves áramképét mutatjuk be a 13. ábrán.

Következtetések

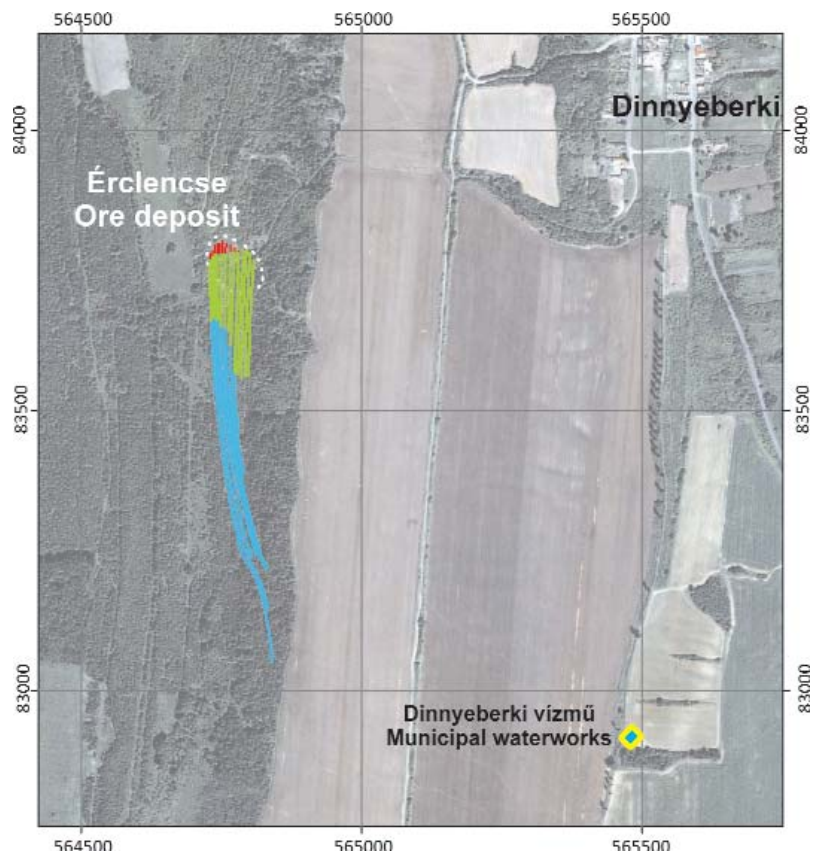
A dinnyeberki kutatás során Magyarországon eddig ismeretlen típusú uránérc-felhalmozódás vált ismertté. A dúsulásra az egyik lehetséges magyarázat a permiai formációk uránércének az áthalmozódása.

13. ábra. Az ércetestből indított vízrészecskék 100 éves áramképe a terület 10 000-es topográfiai térképén (EOV hálózat)

Piros szín jelöli a szervesanyag-tartalmú rétegben, zöld a közvetlen fedő miocén képződményben, kék a pannóniai rétegekben haladó részecskéket

Figure 13. 100-years flow pattern of water particles starting from the deposit on the topographic map of the area (Scale 1:10,000, EOV grid).

Red colour indicates the particles moving in the organic matter containing bed, the green ones move in the immediate overlying Miocene formation, the blue ones in the Pannonian beds



Az ércesedés alatti alaphegységben előfordul, és a környéken a felszínen is megjelenik a Korpádi Homokkő, amelyből ércindikációk ismertek (VINCZE et al. 2011). Hasonlóképpen feltárt a Cserdi Formáció, amely ezen a területen uránérc szempontjából ugyan meddő, de a Somberek Smb-1 jelű fúrásban ismert belőle indikáció. A Kővágószőlősi Homokkő a közeli Goricai-blokkban kiemelt és lepusztuló helyzetben volt a miocén során, így elképzelhető, hogy az abból ismert érc urántartalma halmozódott át. Elképzelhető megoldás, hogy a környező alaphegységi (perm homokkövek, riolit, gránit) vagy idősebb miocén képződményekből (pl. dácittufa) oldódott ki az urán. (Ebből a szempontból figyelemre méltó, hogy az ércelence északi peremén mélyült 9017 számú fúrás granitoid kőzeteiből VINCZE et al. [2011] mikrotelérés–mikroeres uránércet írtak le.) Ebben az esetben az üledékképződéssel egy időben, vagy azt röviddel követően érkező urántartalmú oldatok bejutottak a még laza üledékbe és — elsősorban a szervesanyag-tartalom redukáló hatásának köszönhetően — megkötődött a csak oxidált formában mobilis urán.

Abból a megfigyelésből, hogy az urán kiugró koncentrációja mindig a szervesanyag-tartalmú kőzetekhez kötődik, de nem minden szervesanyag-tartalmú kőzet érces, arra következtethetünk, hogy a szingenetikus ércképződés már korábban megtörtént, és a szervesanyag-tartalmú üledék csak „konzerválta” az áthalmozott szürke, ércásványos aleurolitban az uránt. Az izotópvizsgálatok (FAZEKAS & VINCZE 1984) is ezt támasztják alá.

Az érc kialakulásához szükség volt a telep urántartalmának átrendeződésére, koncentrációadására is a késő-miocénben — akár fizikai, akár kémiai úton. Ezután a telep hidrogeológiai szempontból zárt rendszerré vált, az urántartalmú oldatok elszökni nem tudtak, az urán a telepen belül migrált, és a szervesanyag-tartalmú, vagy egyéb okból redukív mikrokörnyezetben tovább dúsult. Az ércesedés kora ólomizotóp-mérés alapján 20, a további áthalmozódás kora 11–15 millió évnél adódott (FAZEKAS & VINCZE 1984). (Az idősebb kort fenntartással kell kezelni, minthogy az érces összletben található savanyú vulkáni tufa egyértelműen Tari Dácittufa, tehát a kárpáti korszak végén képződött, mintegy 16 millió éve. Erre figyelmeztet FAZEKAS & VINCZE (1984) is. Ma már az izotópok spektrometriai módszerrel történt meghatározása sem tekinthető mérvadónak.) Így az ércesedés idősebb lenne a befogadó kőzetnél. Ugyan nem zárható ki, hogy a tufaszint alatti törmelékes miocén üledékek jóval idősebbek, vagyis akár 20 millió évesek is lehetnek, de a kavicsanyag változatlansága, az egész összlet egységes litológiai arculata ennek ellentmondani látszik. Lehetséges magyarázat még, hogy egy közeli, idősebb miocén uránércesedés anyaga halmozódott át törmeléként a kárpáti korú képződményekbe, majd ott tovább koncentrált. Az eredeti állapotú ércben általában fennállt a radioaktív egyensúly, csak a kavicsokban mutatkozott Ra-többlet. Ez szintén arra utalhat, hogy a kavicsok urántartalma „hozott anyag”, tehát már ércesedetten halmozódtak át az idősebb miocénből, majd a jelenlegi helyükön — a később lezajlott átren-

deződés során — uránt veszítettek, míg a kevésbé mobilizálható rádium bennük maradt.

A dúsulás általában a kavicsok bekérgeződéseként, vagy a kavicsok belsejébe hatoló finom repedések mentén figyelhető meg. A meddő kőzetben található azonos anyagú kavicsok meddők, az eredeti állapotukban pedig uránban szegény bazaltkavicsok az érces rétegekben uránban a leg-gazdagabbnak mutatkoznak. Mindezek azt bizonyítják, hogy a kavicsok ércesedése utólagos.

Hasonló típusú ércesedésre olyan alaphegységi környezetben lehet számítani, amelynek kőzetei áthalmazásra vagy kilúgzásra alkalmas uránt tartalmaznak. Nem kizárólagos feltétel az urán dúsult mennyisége, ha a kioldás és a megfelelő vízáramlás elegendő ideig fennáll. Alapfeltétel azonban a megfelelő — redukív, leginkább mocsári — fáciesű és hidrogeológiai helyzetű fedőhegységi üledékek kifejlődése. Ilyenek előfordulására lehet számítani a Mecsek környezetében, ezért is indult meg MAJOROS György tervei szerint a nyolcvanas években a kis mélységű radiometriai kutatás (KMRK), melynek során még egy perspektivikus területet találtunk Bátaszék környékén (BARABÁS et al. 1987, BARABÁS 1992). Ott felső-pannóniai (s.l.) képződményekhez kapcsolódik egy klasszikus „roll típusú” dúsulás. Kutatását a MÉV kezdte meg a nyolcvanas évek végén, majd a kétezres években a WildHorse Energy Hungary mélyített néhány újabb fúrást (BARABÁS et al. 2008).

2008-ban, a dinnyeberki uránérc legújabb kutatási fázisában a WildHorse Energy lemélyítette a Db-46 jelű fúrást, amelynek anyagvizsgálati eredményei környezetföldtani szempontból is tanulságosak. A kísérleti perkoláció — a kedvezőtlen hidrogeológiai viszonyokból fakadóan mérsékelt sikeressége ellenére is — átrendezte az ércesedést. Az ércetest legalább tíz éven át savas közegben (pH = 1–4) állt, ami részben a kármentesítés után is fennmaradt — hiszen egyes megfigyelő kutakban a pH értéke 5–6 volt. A jelek szerint ez elég hosszú idő és elég agresszív környezet volt ahhoz, hogy még a gyenge áteresztőképességű kőzetben is végbemenjen bizonyos migráció. A Db-46 jelű fúrás az egykori kísérleti perkoláció hatásterületén belül, a Db-3 fúrás mellett mélyült. Utóbbi karotázsgörbéje alapján az ércesedés eredetileg egybefüggő volt, de később az urán távozott a középső szakaszáról, részint a perkoláció, részint a későbbi, savas rétegvíz okozta mobilizáció és migráció következtében (7. ábra). A migráció lefelé irányult, míg végül a magas szervesanyag-tartalmú réteg a 107,5 m-es tengerszint feletti magasság környékén ismét megkötötte az uránt — extrém magas koncentrációt eredményezve. Ez a magyarázata a középső szint jelenlegi uránhiányának (rádiomtöbbletének), és az alsó szint urántöbbletének.

Környezetföldtani szempontból is tanulságos, hogy az ércesedés területén korábban folytatott radiometriai-radiogeokémiai kutatások nem találtak anomáliát. Sem a környék forrásainak, sem az ércetest feletti (!) gémeskútnak a vize nem utalt urándúsulás közelségére, noha a kiemelkedő koncentrációjú érc a felszín alatt mindössze 39 méterrel helyezkedik el. A gémeskútba telepített radonérzékelő sem

jelzett anomáliát. Ezek a megfigyelések a radioaktív hulladékok elhelyezési programjában természetes analógiaként hasznosíthatók a földtani gát kiválasztásához és megbízhatóságának értékeléséhez.

A numerikus vízföldtani modellezés alapján megállapítható volt, hogy az 50 éves elérési időkhöz tartozó áramvonalak nem érik el sem a felszínt, sem a fedő kvarter rétegeket. A vízbázis ebből következően, valamint a fedőréteg jelentős vastagsága miatt, nem sérülékeny. Esetleges veszélyeztetettségét az érclencse irányából is vizsgáltuk, a szennyezett közettest határáról indított vízrészecskék pályájának modellezésével. Az áramlási irányok déliesek, elkerülve a dinnyeberki ivóvízkút utánpótlódási területét. Déli irányban 7 km-re található a legelső vízkivétel, és figyelembe véve, hogy 300 éves elérési időhöz 1,5 km-es

úthossz tartozik, valamint a számítások konzervatív megközelítéssel készültek, kijelenthető, hogy a szennyeződés ezeket sem veszélyezteti.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Mecsekérc Zrt., a Mecsek-Öko Zrt. és a WildHorse Energy Hungary vezetőinek az adatok biztosításáért, munkánk támogatásáért. A cikk elkészítését és megjelenését a Dél-dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése (TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002) pályázat támogatta. Köszönjük lektoraink, SZEBÉNYI Géza és VINCZE János észrevételeit, pontosításait, és fontos kiegészítéseit.

Irodalom — References

- BARABÁS A. 1992: Results of the prospection for ISL uranium ore deposits in the Southeastern foreland of the Mórág Hill (SW Hungary). — *Acta Geologica Hungarica* **35/1**, 59–82.
- BARABÁS A. 2009: Dinnyeberki uranium ore deposit — new exploration results and current status. — *Modern Geográfia*, http://www.moderengeografia.hu/tanulmanyok/foldtan/barabas_andras_2009_2.pdf.
- BARABÁS A., KOCH L., VÁGÓ Z. & VÁRHEGYI A. 1987: Jelentés a hidrogenitikus uránlelőhelyek kutatásának eredményeiről. Mecsek és környéke. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 51 p.
- BARABÁS A., CSICSÁK J., HÁMOS G. & MÁTHÉ Z. 1996: A nyugat-mecseki neogén részletes vizsgálata. OTKA pályázat zárójelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 26 p.
- BARABÁS A., BALOGH Z. & MÁZIK J. 2008: Uránérctelepek kutatása a Mórág-hegység délkeleti előterében. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **141/6**, 2–9.
- BUDA Gy. 1984: Jelentés a Ny-mecseki granitoidok ásvány-kőzettani vizsgálatáról. ELTE Ásványtani Tanszék jelentése a MÉV részére. — *Kézirat*, MÉV Adattár, 33–260.
- CHIKÁN G. 1991: A Nyugati-Mecsek kainozoós képződményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, Budapest, 281 p.
- CHIKÁN G. & WÉBER B. 1984: A dinnyeberki térképező 2. sz. (BüT. 11.) fúrás földtani eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1982. évről*, 227–230.
- CSICSÁK J. 1999: A Bodai Aleurolit Formáció minősítésének rövidtávú programja, Kutatási zárójelentés 5. kötet. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 60 p.
- DAHLKAMP, F. J. 1993: *Uranium Ore Deposits*. — Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 460 p.
- DUDUKALOV, P. & POPOV, N. 1982: A mecseki lelőhely perkolációval történő művelési lehetőségeinek értékelése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 19 p.
- FAZEKAS V. 1978: A magyarországi felső-paleozoós vulkanitok ásvány-kőzettani- kémiai, valamint sugárzóanyag-tartalom vizsgálata. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár Kővágószőlős, 111 p.
- FAZEKAS V. & VINCZE J. 1984: Kutatási zárójelentés. A dinnyeberki miocén uránércesedés ásványtani-, kőzettani-, és geokémiai vizsgálatának eredményei. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 35 p.
- FEKETE L. 1988: Tájékoztató a MÉV bányabeli és a Dinnyeberki területen végzett földalatti perkolációval kapcsolatos vizsgálatokról. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 4 p.
- FÖLDING G. & STEFÁN J. 2004: Dinnyeberki, volt in-situ perkolációs terület. Műszaki beavatkozási zárójelentés. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. adattár, Kővágószőlős, 27 p.
- GYALOG L. & BUDAI T. (szerk.) 2004: Javaslatok Magyarország földtani képződményeinek litosztratigráfiai tagolására. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2002*, 195–232.
- HARSÁNYI L.-né 1988: Dinnyeberki ércetest és perkolációs poligon érc- és fémvagyon számítása. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 18 p.
- HEGYI J. 1982: Dinnyeberki 9-25 és 9017. számú fúrások laboratóriumi anyagvizsgálatának eredménye. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 61 p.
- KOCH L., UNYI P. & BÁNDOLI P. 1988: Technológiai utasítás a kísérleti fúrólukas földalatti perkoláció üzemeltetéséhez. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. adattár, Kővágószőlős.
- KONRÁD Gy. 1982a: A gyűrűfűi terület (37. sz. téma) 1982. évi földtani kutatási terve. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 35 p.
- KONRÁD Gy. 1982b: Javaslat a dinnyeberki kutatások folytatásának irányához. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 7 p.
- KONRÁD Gy. 1995: A dinnyeberki uránércesedés kísérleti földalatti perkolációjának környezeti hatásai. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 23 p.

- KONRÁD Gy. & SEBE K. 2010: Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. — *Földtani Közlöny* **140/2**, 135–162.
- KONRÁD Gy., FÖLDING G. & SZANKA T. 1999: A dinnyeberki felszínalatti perkolációs terület kármentesítésének engedélyeztetési és kiviteli terve. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 37 p.
- KÓSA L. 1982: A 9017. sz. mélyfúrás dokumentációs alapadatai és értékelésük. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 250 p.
- LENDVAI L. 1995: A dinnyeberki uránércesedés kísérleti földalatti perkolációjával összefüggő környezeti hatások felmérése és a perkolációs térségben végzett rekultivációt megelőző munkálatok. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős.
- Magyar Szénhidrogénipari Kut. Fejl. Intézet Geol. Főoszt. 1982: Jelentés a 26924/1/82 sz. megrendelő alapján végzett kőzetfizikai vizsgálatokról. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős.
- TÓTH A. 1987: Vízáteresztési tényező meghatározása. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 4 p.
- TÓTH L. 1984: Dinnyeberki körzetében létesített kísérleti fúrólukas földalatti perkolációs technológia műszaki terve. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős.
- UNYI P. 1987: A gyűrűfűi érclencse perkolációs kitermelésének kútkiképzési és geotechnológiai műszaki terve. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt Adattár, Kővágószőlős.
- UNYI P. 1988: A gyűrűfűi perkolációs kísérletek értékelése. — *Kézirat*, Rotaqua Kft., Kővágószőlős.
- UNYI P. 1989: Földalatti fúrólukas perkoláció szerepe a bányászatban és a dinnyeberki kísérleti földalatti kilúgzó üzem működésének eddigi tapasztalatai. — *Kézirat*, Rotaqua Kft., Kővágószőlős.
- VARGA A. 2009: A dél-dunántúli paleozoos–alsó-triász sziliciklasztos kőzetek kőzettani és geokémiai vizsgálatának eredményei. — *Doktori (PhD) értekezés tézisei*, ELTE, TTK, Földtudományi Doktori Iskola, Bp., 10 p.
- VINCZE J., G. SÓLYMOS K., DITRÓI-PUSKÁS Z. & KÓSA L. 2011: Mikroteleres, -eres uránérc a nyugat-mecseki gránitban. — *Földtani Közlöny* **141/4**, 325–339.
- WÉBER B. 1982: A „BüT-indikáció” felderítő kutatásának 1982. évi földtani operatív terve. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, Kővágószőlős, 4 p.
- Kézirat beérkezett: 2012. 06. 05.