

## RADIOAKTIV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSÉNEK

### KÖRNYEZETFÖLDTANI ELŐVIZSGALATAI

Moyzes Antal\*

A Paksi Atomerőmű Rt. területén az energiatermelés következményeképpen különféle radioaktív hulladékok is keletkeznek, amelyek közül a kis- és közepes aktivitású folyékony és szilárd hulladékokat az ország területén belül, önálló tározóban tervezik elhelyezni. A folyékony és szilárd hulladékokat az erőműben kezelik és a feldolgozás során cementtel keverve megszilárdítják.

A cementmátrixba ágyazott kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére 14 possibili terület különböző részletességű megkutatása után 1983-ban kezdődött - majd a viták középpontjába került - Ófalu, Feked, Véménd és Bataapáti községek között elhelyezkedő possibili telephely megkutatása. A tájékoztató kutatás 1983-ban, az előzetes kutatási fázis 1984-88. között készült el. A részletes kutatási fázis mérnökgeológiai és talajmechanikai vizsgálatait még el kellene végezni. A részletes kutatás már nem a tervezett tárolók létesíthetőségére, hanem az építendő tárolók kiviteli terveihez szükséges részletkérdések megválaszolására irányulna.

Az atomerőmű üzemel, következésképpen a radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezését meg kell oldani. A tartós tárolóhely minden bizonnyal hazánk területén belül lesz.

A radioaktív-hulladék tároló és kezelő telep létesítése további, új kutatások, szakmai és politikai döntések után lehetséges. A környezetvédelmet, a biztonságot szolgáló kutatások és döntések alaposságát nagymértékben segítheti a korábbi kutatások (az ófalu területé is) eredményeinek, tapasztalatainak ismerete és hasznosítása.

\* KGI - Környezettechnológiai és Mérnökgeológiai Intézet

Az ófalui területre vonatkozó elővizsgálatok kutatási eredményeit összefoglaló jelentések és értékelések 1992-ben elkészülnek. Az elővizsgálatok komplexitására jellemző, hogy a hatóságokon kívül 15 vállalat és intézmény szakértői vettek részt a munkákban. A sokoldalú vizsgálatsorozat alapján megismert természeti adottságok meghatározóak a létesítendő tározóterek helyzetének és szerkezetének megválasztása szempontjából. Teljes biztonságot adó természeti adottságú területek - olyanok, amelyek művi védelem nélkül biztosítanak a radioaktív hulladékok helyben maradását - nincsenek. Ezért az izotóptárolók telephelyének természetes védelmi elemeit megfelelő műszaki védőelemekkel kell kiegészíteni, annak az alapvető célnek az érdekében, hogy a hulladékelhelyezésből eredően se a közeli, se a távolabbi jövőben ne érje károsodás az embereket. Minden biztonsági elemzésnek az embert érő potenciális sugárhatás értékelését kell tartalmaznia. Ez ma Magyarországon azt jelenti, hogy normál-üzemi és rendkívüli körülmények között a tárolási idő alatt ne jöhessen létre olyan helyzet, amelynek során a környezetben élő lakosság egyedi dózisterhelése a Népjelölti Minisztérium által előírt 0,25 mSv/év határértéket meghaladja.

A mesterséges korlátokat jelentő művi védelmi berendezéseket úgy választották meg, hogy normál körülmények között ne kerüljön ki belőlük aktivitás. A földtani környezettel szembeni elvárás ugyancsak az, hogy a tárolóterekből esetleg kijutó radioaktivitást a tárolóhely néhány tíz méteres földtani környezetében akár 600 évig is visszatartsa úgy, hogy a 0,25 mSv/év dózisterhelést okozó szennyezés töredéke se jusson a felszínre.

Ezért a területkiválasztás sokoldalú vizsgálatainak sorából kiemelkednek a befogadó földtani-közeg különböző szivárgási tulajdonságainak, a beszivárgó víz mozgásirányainak, sebességének, újra felszínre bukkanásához szükséges idejének meghatározására vonatkozó kutatások. Ezek alapján lehet

modellezni a vízbe oldódó szennyezőanyagok terjedését. Az erre irányuló vizsgálatok néhány elemét ismerteti ez a cikk az Ófalu kutatási terület példáján.

### 1. A kutatási terület földtani, vízföldtani adottsága

A kutatási terület a Mecsek-hegységet DK-en kísérő Mórág-Geresdi dombsághoz tartozik.

Az Ofalu-Feked-Véménd-Erdősmecske-Bátaapáti között elhelyezkedő terület a mecseki és villányi mezozoós pászták közé ékelődő EK-DNY-i irányú, mintegy 160 km<sup>2</sup> kiterjedésű karbon időszi kristályos vonulat /Fazekasboda-Mórági vonulat / középső részén helyezkedik el.

Az ófalu kutatási terület földtani felépítését a szakirodalomból, a fúrások adataiból és a geofizikai mérési eredményekből, valamint a csatlakozó területeken fellelhető természetes feltárásokból ismerjük. A kutatási terület földtani felépítésének szemléltetésére szerkesztett földtani rétegoszlop a kutatófúrások rétegsorainak feldolgozása alapján készült /1.ábra/.

A tervezett tárolók helyén mélyült fúrások változatos rétegsort tártak fel. A fiatal, harmad és negyedidőszaki üledékek aljzatát az egész területen regionálisan elterjedt karbon-időszaki porfiroblasztos gránit, ill. granitoid kőzetek alkotják. Az alaphegység felett általános elterjedésben pliocén törmeléklepelyagos, kőzetlisztes kitöltésű gránittörmelék, homokot, görgeteget és eróziós foszlányokban észlelhető agyagbetelepüléses, agyagos, kovás kötésű földpátdús homokkő rétegeket tártak fel a fúrások. A pliocén összlet gyenge vízvezető tulajdonságú, de vizet tároz, rétegvíz tartó összletként ismeretes.

A fedőüledékek zömét a pleisztocén képződmények alkotják. A pleisztocén alsó kevert hidromorf rétegei uralkodóan agyagosak, általában vízrekesztőként, ill. igen gyenge vízáteresztőként viselkednek. A felső pleisztocén fosszilis tala-

jokkal és szemipedolitokkal tagolt löszös eredetű kőzetliszt, agyagos kőzetliszt és kőzetlisztes agyag rétegei képezik a tervezett tárolók befogadó összletét. A felső pleisztocén alsó hányadában, a fekü alsó pleisztocén összlet vízrekesztő hatása következtében észlelhető a felső vízemeletként meghatározott talajvíz.

A tervezett radioaktív hulladéktárolók területén a talajvíz 30-35 m-es mélységközben helyezkedik el a terep alatt. A tárolók 12 m mélységűek lesznek, és a tárolóterek létesítéséhez maximum 15 m mélységű munkagödrök készülnek az előzetes tervek szerint /2. ábra/.

## 2. Hidroszonda vizsgálatok

Alapvető fontosságúnak tartottuk a kutatások során a tervezett tározóterek és a talajvíztartó közötti három fázisú szakaszként kezelt földtani közeg szivárgási tulajdonságainak részletes megismerését. Ezért a hagyományosnak mondható szivárgási vizsgálatok mellett - amelyek a háromfázisú zónában csak egy-egy vizsgálati pontra érvényes szivárgási tényezőt, vagy a kétfázisú rétegek átlagos szivárgási tényezőit határozzák meg - a fedő üledékek rétegzettségének megfelelő pontsűrűségű szivárgási tényező meghatározását is elvégeztük.

A feladatot a Kiss-Szvák mérnökök által kifejlesztett, hidroszonda néven ismert módszerrel és eszközzel végeztük. A módszer előnye, hogy egy-egy függélyben igen nagy /5-10 cm-es/ pontsűrűséggel határozható meg a rétegek horizontális szivárgási tényezői. Az eszközt és az eljárást olyan vékony szemipermeabilis - permeabilis rétegek helyzetének meghatározására fejlesztették ki, amelyek kimutatása hagyományos eljárásokkal gyakran nem is lehetséges.

Az eszközzel és az eljárással megállapítható az egyes szintek szivárgási tényezője is azon korlátok között, amelyekben belül az ilyen vékonyságú rétegekben a k-tényező értéke, a szivárgás folyamata értelmezhető.

Az eszköz egy célszerű csúccsal ellátott statikus szonda /3. ábra/. A folyamatos besajtolás során a szondacsúcs állandó víznyomás alatt áll, a permeabilitásra utaló változásokat az elnyelt vízmennyiségből és a hozzátartozó nyomásból számíthatjuk.

A szondával ugyan még viszonylag csekély számú szivárgási tényező-sorozat vizsgálatot végeztek, de az eredmények pontossága az adott kis permeabilitású rétegekben megfelelőnek látszik.

A hidroszondával végzett méréssorozatok alapján a quarter összlet szakaszokra bontható. A legfelső 4-6 méter jobb vízvezető az alatta lévő összletnél. Ezen a szakaszon mért szivárgási tényezők értékeinek átlaga  $k = 4,81 \times 10^{-7}$  m/s. 6 és 19 méter között ugyanez  $1,46 \times 10^{-7}$  m/s. Végül 19 méter alatt  $6,18 \times 10^{-8}$  m/s a szivárgási tényező átlaga.

A hidroszonda méréssorozat eredményei számítógépes feldolgozással grafikusán is megjeleníthetők /4. ábra/.

A grafikus ábrázolás jól szemlélteti az összlet rétegzettségét és inhomogenitását.

### 3. A vízrészecskék szivárgása a földtani környezetben, a szivárgási útvonalak vizsgálata

A beszivárgó csapadékvíz útját a földtani összeleteken keresztül a kutatók több szivárgási modell segítségével vizsgálták. A következőkben az FTV számítási alapmodelljét és az alkalmazott számítási eljárást ismertetem.

A tervezett tárolók földmunkagödreinek fenékszintjéből kiindulva a szivárgó vízrészecske útvonalát vizsgáltuk, illetve az útvonalak megtételéhez szükséges időket számítottuk.

A vízrészecske szivárgási útvonalát a következő két szakaszra bontottuk:

a/ Függőleges leszivárgási útvonal-szakasz a hulladéklerakó alapfelületétől számítva a talajvíz felszínéig. Ezen az útvonalszakaszon három fázisú /víz + levegő + mátrix / térben zajlik a szivárgás.

b/ A talajvíz szintjéhez leérő vízrészecske a továbbiakban a talajvíz piezometrikus felületén megszerkeszthető trajektória vonalán szivárog tovább horizontális irányban, két fázisú /víz + mátrix/ térben.

A térbeli szivárgások időbeni alakulása döntően a szivárgási útvonalak által harántolt kőzetek minőségétől függ. A vizsgált térrészben finomszemű, agyagos homoklisztek, agyagok fordulnak elő.

Ezen kőzetféléseket plasztikusságukkal /Ip%/, hézagtárfogatukkal, szabad hézagtárfogatukkal, víztartalmukkal, illetve áteresztőképességükkel jellemeztük a szivárgási modellben.

A számítási módszer lényege az, hogy a kétfázisú szivárgási térben a Darcy -féle szivárgási egyenlet írja le a szivárgó víz térbeli mozgását:

$$v = - \frac{k}{n_0} \left( \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y} \right),$$

ahol  $v$  = szivárgó víz sebessége /m/nap/

$k$  = szivárgási tényező / m/nap/

$n_0$  = szabad hézagtárfogat

$$J = \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y} \quad \text{a hidraulikus esés.}$$

A három fázisú zónában a szivárgási tényező a kőzetek víztartalmától és hézagtárfogatától függ.

S.Irmay /lásd Juhász J: Hidrogeológia, 322. oldal. Budapest, 1988/ a függőleges szivárgási tényező felvételére a

$k_v = k \cdot f / w t$  összefüggést javasolja.,  
 ahol  $k_v$  = a három fázisú függőleges átszivárgási együttható  
 $k$  = Darcy -féle kétfázisú szivárgásból ismert szivárgási tényező  
 $f / w t$  = a közet természetes víztartalmától  $w$  és teljes hézagterefogattól  $n$  függő tényező, ahol  $W$   
 $w t = \frac{W}{n}$ ;  
 közelítően  $f / w t = w t^{3.5}$  így, hogy ha  $w t = 1$ , akkor  $f / w t = 1$  / kétfázisú szivárgás esete/.

A fentiek szerint a három fázisú zónában a fenti módszer szerint a  $d_z$  úthossz megtételéhez szükséges  $d_t$  idő:

$$d_t = \frac{n_o}{k \cdot f / w t} \cdot d_z,$$

a kétfázisú zónában pedig

$$d_t = \frac{n_o}{k / (I - I_o)} \cdot d_z,$$

ahol:  $I$  = hidraulikus esés gradiens

$I_o$  = küszöbesés /kis esések alkalmával finomszemű pelites üledékeknel kell alkalmazni a hidraulikus gradiens csökkentésére/; értéke közetféleség csoportoktól és  $I$  nagyságától függően változik.

### 3.1 A függőleges elérési idő

A fentiekben bemutatott módon fúrásonként állítottuk elő a szükséges adathalmazokat. A függőleges elérési idők számításához kiindulási szintként a tervezett munkagödör fenék-szintjét / a rendezett terepszint alatti 15 m/ 265,0 mBf-nek vettük fel.

A talajvíz felszínéig számított függőleges elérési időket az 1. táblázatban foglaljuk össze:

1. táblázat. A függőleges elérési idő különböző pontokon

Fúrás száma	függ. elérési idő / év/	trajektoria száma	függ. leérési idő /év/
F 1	17	TR 1	21
F 2	16	TR 2	21
F 3	21	TR 3	23
F 9	18	TR 4	17
F 10	23		
F 11	20		
F 12	18		
F 13	20		
F 17	23		
F 18	21		
F 19	21		
E 1	20		
E 2	27		

### 3.2 A horizontális elérési idő

Vízföldtani modellünkben a 15 m-nél nagyobb mélységbe időszakosan leszivárgó vízmennyiségekből a pleisztocén víztartóig lejutó vízrészecskék a trajektóriák mentén, a piezometrikus szint esésének megfelelő útvonalon, horizontális szivárgással a trajektóriák teljes hossznyi útvonalát a 2. táblázatban közölt számított elérési időtartam alatt járják be.



2. táblázat. A vízszintes elérési idő különböző lehetséges útvonalak mentén





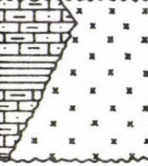
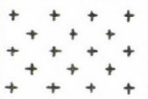
trajektória száma	a felvett útvonal teljes hosszának megtételéhez szükséges elérési idő/év/	
	ha $n_0 = 2,55 \%$	ha $n_0 = 1,0 \%$
TR 1	703	276
TR 2	668	262
TR 3	5749	2255
TR 4	4160	1631

Az útvonal-szakaszok megtételéhez szükséges idők számított értékeit, azaz a szivárgó vizek út-idő grafikonjait az 5. ábrán ábrázoltuk. Az út-idő grafikonok felhasználásával szerkesztettük meg az azonos elérési időfrontokat a szivárgási térben /6.ábra/. Az ábrán jól látható, hogy a TR 4, TR 3 sz. trajektóriákkal jellemzett szivárgási térben a D-i vízgyűjtő területén a szivárgó víz áramlási sebessége közel egy nagyságrenddel kisebb, mint az E-i vízgyűjtő területén a TR 1, TR 2 sz. trajektóriák menti szivárgási sebességek. Az elérési idő értékek a 2. táblázat és a 6. ábra szerint is félezer éveket jelentenek.

Fentiekben a vízrészecskék mozgását írtuk le az egyik lehetséges szivárgási modell szerint. Az elérési időket összevetve a radioaktív hulladékok 600 éves lebomlási idejével belátható, hogy a tárolókból feltételelesen a földtani közegbe jutó aktivitást mobilizálni képes vízrészecskék, a kutatási területként ismert Harsány-Kereszti domb belsejéből nem jutnának ki 600 év alatt.

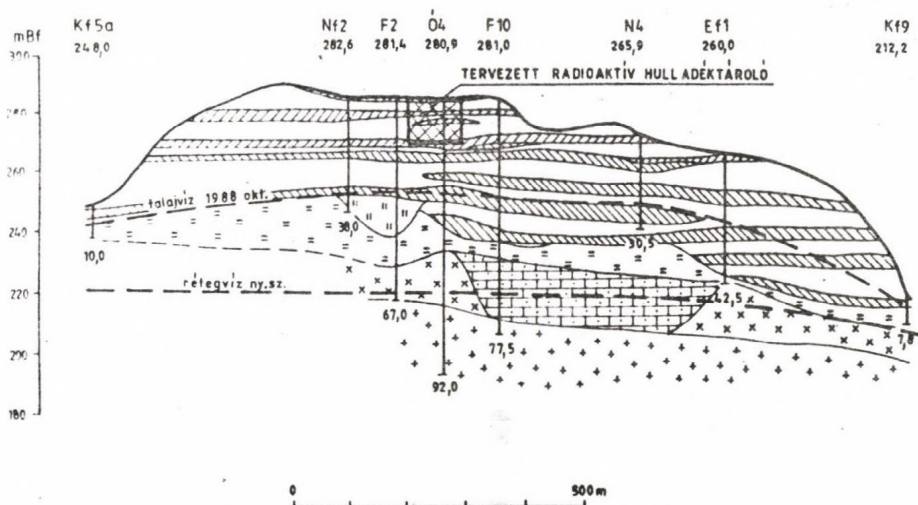
A cikkben a biztonsági elemzés egyik elemét és módszerét emeltük ki. Természetesen sok más paramétert is meghatároztunk, de ezek ismertetése meghaladja a cikk kereteit.

# AZ ÓFALUI KUTATÁSI TERÜLET KUTATÓFŰRÉSAIBAN FELTÁRT RÉTEGSOR










KOR	RÉTEG CSOPORT	KÖZETTANI JELLEG	VASTAGSÁG (m)	A KÉPZŐDMÉNY MEGNEVEZÉSE
holocén			1 - 5	- áthalmazott kőzetlisztes lejtőüledék, völgyi üledékek
felső pleisztocén	fiatal pleisztocén		15 - 20	- sárga kőzetliszt, agyagos kőzetliszt, kőzetlisztes agyag, barna fosszilis talaj betelepülésekkel
	idős pleisztocén		10 - 15	- sárga agyagos kőzetliszt, kőzetlisztes agyag, vörös, fosszilis talaj betelepü- lésekkel
			2 - 20	- hidromorf agyagos fosszilis meder- kitöltés
alsó pleisztocén	alsó pleisztocén		5 - 20	- hidromorf rétegek: szürkésbarna mozaikos szerkezetű agyag, tuftos agyag, homok- kötőrmelések, kavicszórványos agyag (bázi bazalt vulkanizmus)
pliocén			10 - 30	- sárgásszürke földpátú, agyagos kötésű, laza homokkő, agyagos kovas kötésű
			1 - 30	- szürke, sárgásszürke agyag
karbon				szőlban álló granitoid kőzetek

1 ábra

# VÁZLATOS VÍZFÖLDTANI SZELVÉNY

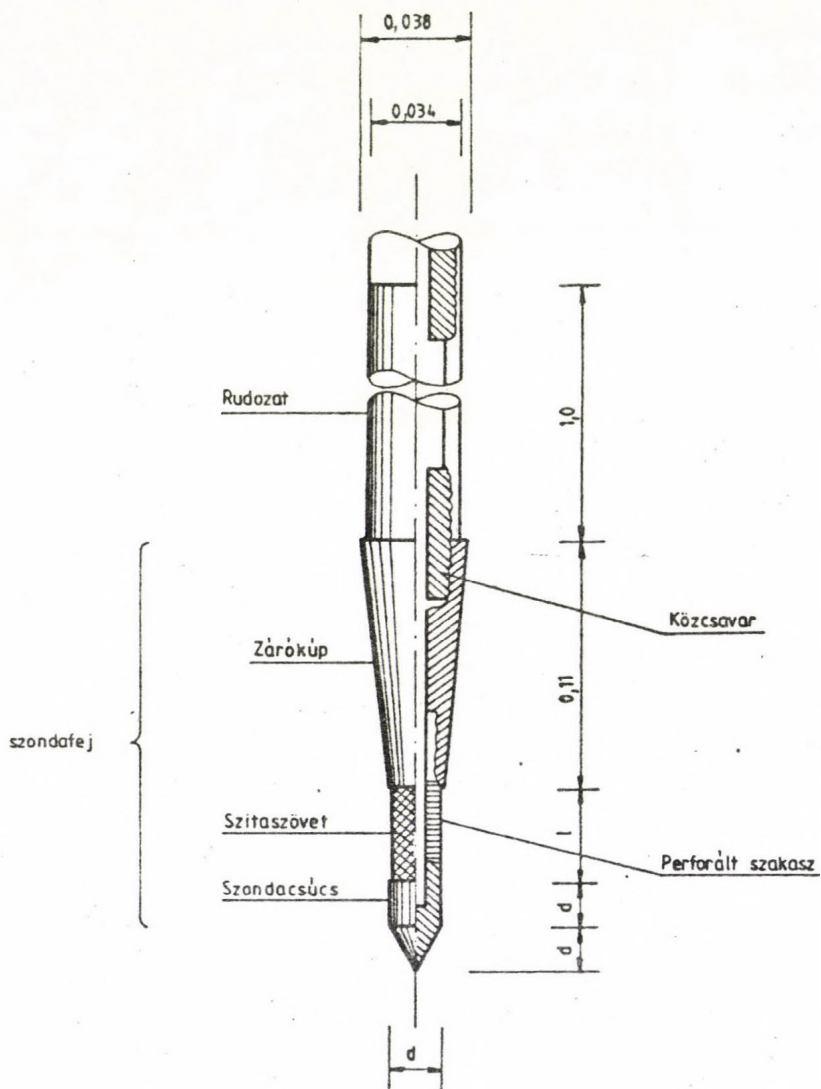


## JELMAGYARÁZAT

	átalmozott agyagos, kőzetlisztes lejtőlész	} HOLOCÉN	} FELSŐ- PLEISZTOCÉN
	barna, fosszilis talaj	} FIATAL PLEISZTOCÉN	
	sárga kőzetliszt, agyagos kőzetliszt, kőzetlisztes agyag		
	vörös, fosszilis talaj	} IDŐS PLEISZTOCÉN	
	hidromorf rétegek: agyag, kőzetlisztes agyag,		
	hidromorf rétegek: agyag, tuffitos agyag, homokkő törmelékes, kavicszórványos agyag	} PLIOCÉN - -ALSO PLEISZTOCÉN	
	agyag, kőzetliszt kötésű, földpátús homokkő	} PLIOCÉN	
	agyagos kőzetliszt kötésű vörös, szurke, granittörmelék	} MIOCÉN	
	száiban álló gránitok	} PALEOZOÓS	

2. ábra

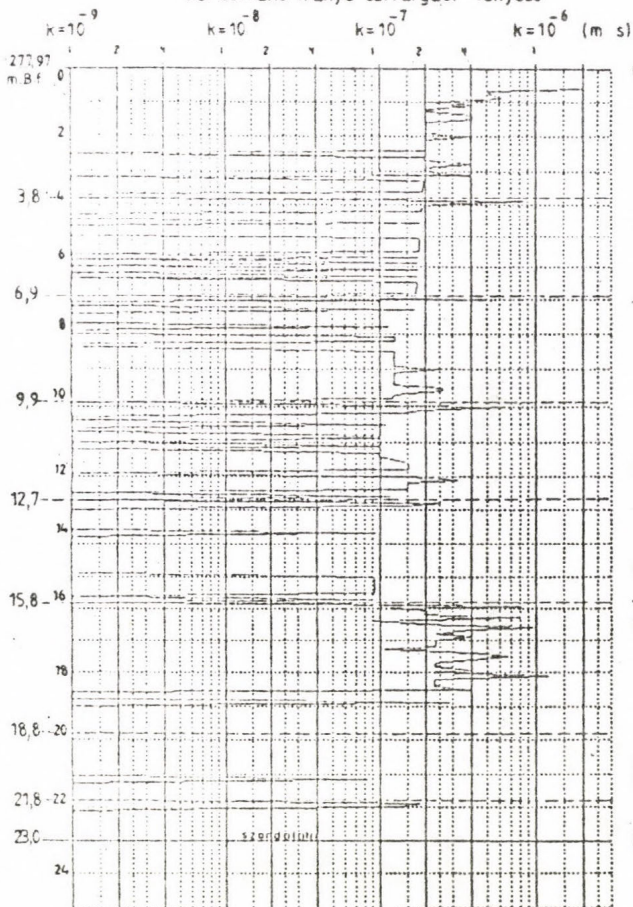
# HIDROSONDACSÚCS ELVI VÁZLATA



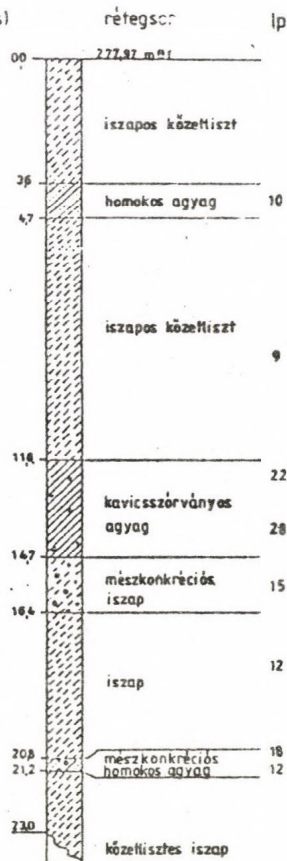
3. ábra

# H-8 HIDROSZONDASZELVÉNY

Horizontális irányú szivárgási tényező

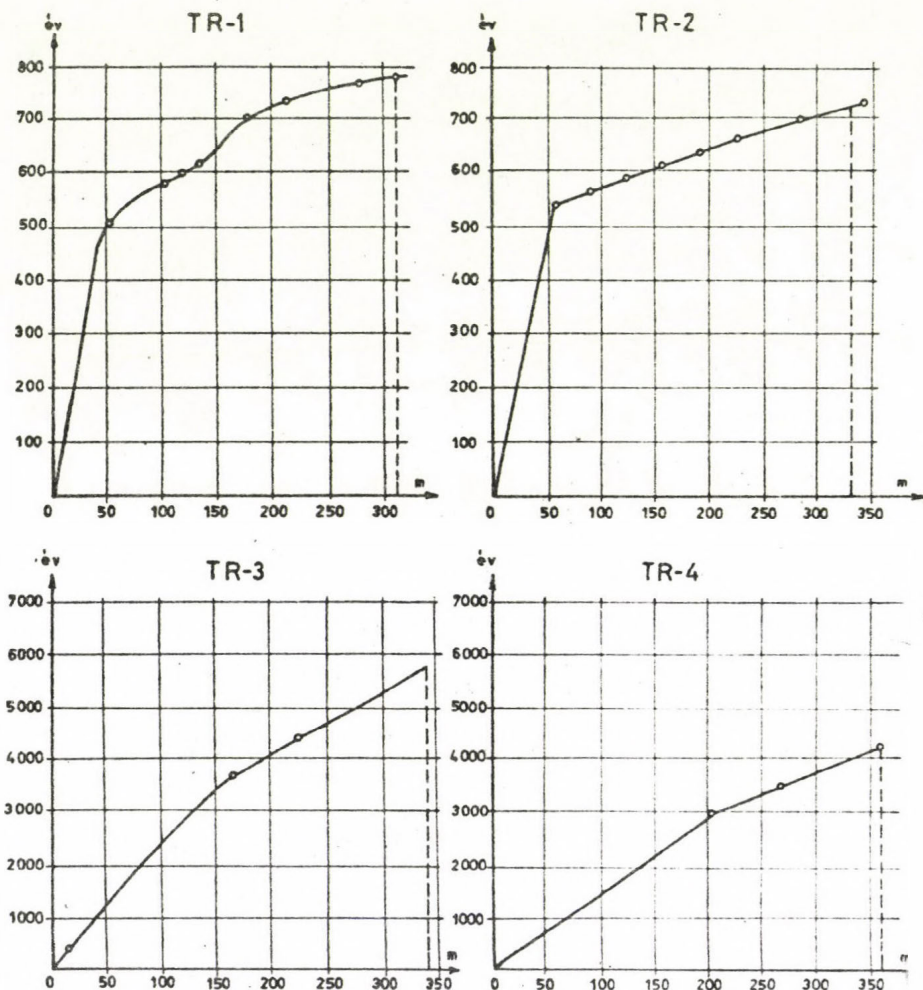


# F-9 ÉSZLELŐKÚT



4. ábra

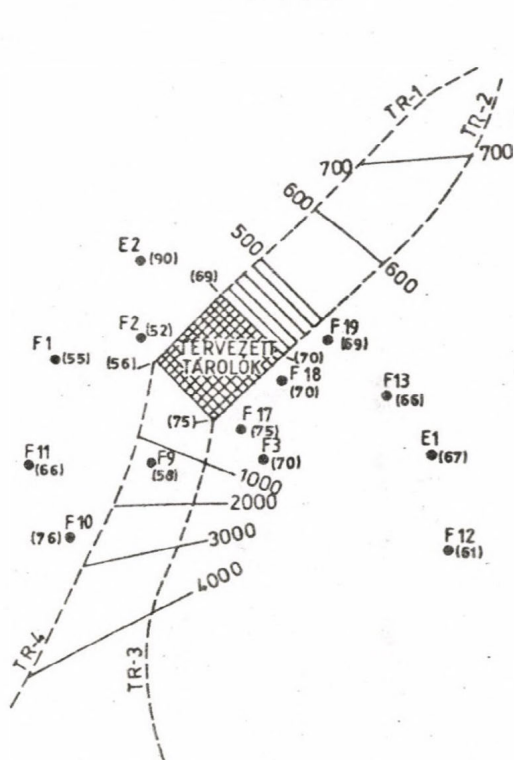
# ELÉRÉSI IDŐ-ÁBRÁK NÉGY SZIVÁRGÁSI ÚTVONAL MENTÉN






5 ábra

# ELÉRÉSI IDŐ-TÉRKÉP

M-1 · 5000



## JELMAGYARÁZAT:

- 
 E1 (67) Számított függőleges leérési idő (év)  
számításhoz felhasznált fúrás jele, száma
- 
 TR-1 Szivárgási útvonal (trajektória) jele, száma
- 
 500 Azonos elérési idejű (izokron) vonalak (év)

6. ábra

ENVIRONMENT GEOLOGICAL PRELIMINARY INVESTIGATION OF  
DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

Antal Moyzes

The author renders information about the preliminary environment geological investigation connected with the disposal of contaminating material having a small and medium activity and coming into being with the Paks Nuclear Power Plant.

On basis of a preliminary comprehensive study has been the territory in the neighbourhood of the villages Ófalu-Teked in the area of the hill-country Mórágý-Geresdi in the Southern part of the country selected. According to investigations in the research area granite, Pliocene and Pleistocene layers of a weathered and clastic material had been explored by the borings. The explored formations are generally watertight and slightly water permeable resp. The recipient rocks of the disposal site are Pleistocene rockflour of loess origin, clayey rockflour and clay with rockflour. There are disputes at present relating to the disposal.