

Geological suitability of the Bábaapáti (Üveghuta) Site and the concept for its further exploration

ZOLTÁN BALLA

Geological Institute of Hungary, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

Key words: fracture zones, granites, ground water, Hungary, hydraulic conductivity, low-level waste, Mórógy Block, radioactive waste, site exploration, South-eastern Transdanubia, underground disposal

Abstract

In international practice “general suitability” only is known for a repository for radioactive waste and its determination depends on a process of safety assessment. “Geological suitability” was introduced in the terms of the official Hungarian regulations. Its practical role is to give relevant criteria to the geological authority so that a judgement can be made on the results of the geological exploration performed before the construction of a repository for radioactive waste.

Here, the existing legal criteria are listed and their fulfilment is demonstrated. On the basis of the analysis of site-selection and the static and dynamic site-characterisation criteria, it was concluded that all of them have been fulfilled. Consequently, it can be stated that the Bábaapáti (Üveghuta) Site is suitable for its intended purpose.

In harmony with the detailed nature of the exploration performed, the Site occupies 0.87 km², and its vertical extension is 80 m. At the same time, the expected values for the repository are 0.07 km² and its vertical extension is 10-30 m, respectively. It can be concluded from these figures that further exploration is needed for the selection of a rock volume for the repository.

Further exploration is planned mainly with underground methods from an incline (doubled for technical reasons) and a horizontal tunnel on the 0 m above sea level (maximum 270 m below the ground surface) horizon. Boreholes and various investigations are designed from the shaft and tunnel. The trace of the incline can be fixed only in its first section; the other sections can be located after additional drilling and geophysical surveying from the ground surface.

Introduction

In international practice with respect to radioactive waste disposal, the term “geological suitability” is unknown. Suitability in general is known and this is determined by safety assessment.

“Geological suitability” was introduced in the Decree 62/1997 (26. XI.) IKIM of the Ministry of Industry, Trade and Tourism: “Geological and mining criteria for siting and designing nuclear facilities and facilities for radioactive waste disposal”. This term made it possible for the Hungarian Geological Survey to pass judgement on the geological exploration related to radioactive waste disposal and its results not only from a purely scientific point of view but also from a viewpoint which is directly connected with the radioactive waste disposal.

In harmony with the regulatory formulation, *geological suitability* is “a positive qualification of geological parameters which are definitive for the safety conditions of the facility”, and *geological parameters* are “mineralogic-petrographic, geochemical, geomechanical, geophysical, tectonic, stratigraphic, hydrogeological, radiometric, historic parameters which control the designed repository and activity”.

Creation of the Decree was prescribed in the Law CXVI. of 1996 “on the atomic energy” (Atomic Law). This Law also prescribed the creation of a number of other orders, but that of them, which would have the most direct relation to the topic in question, only appeared in 2003. This was the Ministerial Decree 47/2003. (8. VIII.) ESZCSM of the Ministry of Health, Social and Family Affairs, named “on specific questions of the temporal storing and final disposal of radioactive waste as well as on the radiation-health ques-

tions of the radioactive materials which occur in nature and are enriched due to industrial activity". As is evident, when the IKIM (Ministry of Industry, Trade and Tourism) Decree appeared, there was no legal regulation based on the Atomic Law either on the suitability in general, or on the safety assessment which defines it.

Probably this forced the IKIM Decree to arrange questions which concern interactions between the geological environment on one hand, and radioactive waste and a repository for it on the other — which are all over the world issues for safety assessment, not for geological exploration — among the tasks for geological exploration. This led to a situation in which the interactions between the geological environment and waste + repository had to be evaluated with almost no data on the repository, and geologists were forced to answer questions which are beyond their competence.

The IKIM Decree has been under revision and correction for a long time. Geologists can only hope that the new regulation will be in harmony with the ESZCSM (Ministry of Health, Social and Family Affairs) Decree, and they will be relieved of all the tasks that are related to safety assessment. On the basis of this hope, below, only those aspects of geological suitability are discussed which are indeed geological and can be evaluated independently from the repository concept and waste package. Taking into account the absence of a new regulation, all these aspects are discussed in terms of the IKIM Decree. Information, which forms the basis for this discussion, is the result partly of earlier investigations (BALLA 1997, 2000), and partly from studies in this volume (BALLA et al. 2004; HORVÁTH et al. 2004; KIRÁLY, KOROKNAI 2004; KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004; MAROS et al. 2004; MARSÍ et al. 2004; ROTÁR-SZALKAI et al. 2004a; SCHENK et al. 2004).

Geological criteria for site selection

Peat and anhydrite, as well as *evaporite stocks* do not occur in wide surroundings of the Site. The *country rock is insoluble*. *Rocks capable of karstification* do not occur in the Site environment either on the ground surface, or below it. In the 10 km vicinity of the Site *existing drinking-water resources with areas holding reserve supplies* are marked by 22 wells in 13 active public waterworks, but the IKIM Decree only prescribes a study of them, and gives no information about how to use the data obtained. In the 10 km vicinity of the Site no *potential drink-water resources* are known. Existing or potential sites for producing *mineral, medicinal and thermal water* do not occur in the Site environment. *Recorded mineral deposits* do not occur in the first 10 km from the Site, but there are three *potential mineral deposits* (the closest is 4 km away): all three are coal deposits. IKIM Decree only prescribes a study of them, and gives no information about how to use the data obtained. *Natural cavities (i.e. open fissures in rocks, caves of karstic or other origin)* do not occur and cannot be expected in the geological environment of the future repository.

The situation in which there are *artificial cavities and facilities (abandoned or active mines, cellars, unfilled boreholes etc.)* can be outlined as follows. In the 10 km vicinity of the Site seven recorded concessions (clay, sand, granite) and three exploration areas occur, all of them several km from the Site contours. The cellars are mostly within the settlements and thus *ab ovo* could not be taken into account. Some cellars occur beyond the settlements, but exclusively at the foot of steep valley slopes, where construction of a repository is completely excluded. Of the boreholes drilled in the frame of the Site exploration Üh-1 and Üh-24 were back-filled; all the others are open and serve as monitoring wells. Of the former wells only two fall within the Site contour; both of them were backfilled by the drilling company Mecsekérc. There are no other artificial cavities in the surroundings of the Site.

Consequently, the selection of the Bábaapáti (Üveghuta) Site fulfilled the legal criteria.

Geological criteria for site characterisation

The fulfilment of the geological criteria formulated in the IKIM Decree for site characterisation is discussed below, with classification into static and dynamic criteria.

Static criteria

Those criteria are regarded as static which aim at the characterisation of present-day site conditions. Those of them which are valid for near-surface disposal but were erroneously prescribed for the underground disposal were abandoned.

The *spatial extension of the host rock* is sufficient, since the rock body of the whole of the Mórággy Granite Formation forms the host rock. The size of the latter on the ground surface and just below is 18×7 km, and its vertical thickness is a minimum of 2-3 km from the geophysical data.

Concerning the *homogeneity of the geological conditions of the host rock* the IKIM Decree only gives a prescription, but does not give any instructions about which parameters and what level of homogeneity are needed. In fact, homogeneity may cover anything: distribution of fracture zones, single fractures or open fissures, as well as distribution of hydraulic conductivity or of groundwater heads *etc.* From the point of view of the geological suitability the final resultant of all these parameters is the flow pattern. Hydraulic conductivity varies between 10^{-6} and 10^{-12} m/s, as known from hydrodynamic testing (BALLA, MOLNÁR 2004). Consequently, the environment is highly inhomogeneous locally, however, the natural flow pattern in big rock volumes is rather homogeneous. This is due to the finite size — around metres and dozens of metres — of conductive fractures. In a big rock volume the resulting conductivity of these fractures and the accompanying regional groundwater-head gradient controls the velocity of the water flow. The

same conclusion can be made from simple practical considerations as well. From the point of view of exploitable water resources, granites are uniformly bad aquifers; the water in them is insufficient even for the local water supply. Consequently, given that consideration, granites can also be classified as homogeneous.

The *distinguishable nature of the geological environment and of the host rock — i.e. the geological barrier —* is confirmed by the results of the exploration, and is outlined in numerous contributions in this volume (BALLA et al. 2004; HORVÁTH et al. 2004; KIRÁLY, KOROKNAI 2004, KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004; MAROS et al. 2004; MARSÍ et al. 2004; ROTÁR-SZALKAI et al. 2004a; SCHENK et al. 2004). The *possibility of modelling the geological environment and host rock* is best confirmed by the existing and successful hydrogeological models (BALLA et al. 2004).

Concerning the application of the criterion *thermal conductivity of the host rock* to low- and intermediate-level radioactive waste disposal, the IKIM Decree is controversial. One of its paragraphs prescribes application, the other does not. According to the 47/2003. ESZCSM Decree which regulates final disposal of radioactive waste “low- and intermediate-level waste is that radioactive waste from which the heat generation is negligible” during the disposal (and storage). As a consequence, the thermal conductivity of the host rock is of no significance in the case of the Bataapáti (Üveghuta) repository.

Concerning the *low in situ temperatures*, the IKIM Decree also contains controversial specifications. The maximum temperatures in the boreholes of both the Site and its surroundings was 24.9 °C. Even if the temperature was not completely balanced when measured, it is obvious that the temperature in the repository and its surroundings will be low.

The *geological barrier above the host rock* is defined in the IKIM Decree as “an extensive geological barrier with low hydraulic conductivity, which can retard or deviate the water flow directed towards the repository”. In the case of the Bataapáti (Üveghuta) Site the lateral flow close to the groundwater table “deviates the flow directed towards the repository”, *i.e.* it plays the role of the geological barrier prescribed. Its existence is best confirmed by hydrogeological modelling (BALLA et al. 2004). The groundwater table is usually located in the upper part of weathered granite, where the hydraulic conductivity is at least two orders of magnitude higher than in the fresh granite which is situated deeper. With the infiltration and with the lowering-downwards of the hydraulic conductivity, the flow system could only be modelled with an assumption that 95% of the infiltrated water moves laterally, towards the neighbouring valleys (discharge areas); the remaining 5% moves down towards the repository.

Horizontal and vertical hydraulic conductivity was studied by hydrodynamic testing (BALLA, MOLNÁR 2004). On the basis of 330 packer tests, the test-interval transmissivity displays a lognormal distribution with a mean of 3.6×10^{-8} m²/s. The lengths of the test intervals are around

10 m, hence the mean hydraulic conductivity of the granites is about 3×10^{-9} m/s, which is an insignificant value. Experience from the hydrogeological modelling shows that the hydraulic conductivity does not differ in horizontal and vertical directions, so that anisotropy cannot be revealed.

A *downward-directed hydraulic gradient in the host rock* can be confirmed or rejected by comparison of groundwater heads. The initial head levels in the boreholes of the Site and its surroundings were studied by hydrodynamic testing (BALLA, MOLNÁR 2004) and by observation of a multipacker monitoring system over a number of years (ROTÁR-SZALKAI et al. 2004b). Head profiles were constructed for the boreholes and by means of 3D interpolation between the data the spatial distribution of the heads was computed. Some damming-isolating as well as conductive structures in the borehole sections generate local deviations, but the heads in general decrease downwards, so the downward-directed hydraulic gradient was confirmed.

The *natural fracturing* was studied in detail (MAROS et al. 2004). Variable interpretation was based on 46,796 fractures measured in boreholes, 6614 in trenches, and 1651 in outcrops. In both boreholes and outcrops, fracturing was studied quantitatively and statistically. On the basis of the level of the fracturing and the orientation of the fractures, the Site and its surroundings were subdivided into blocks. 885 fractures bear displacement traces and this made it possible to analyse the stress fields. Fissure infillings, their spatial distribution, their succession and mineral types were studied in detail. Judging from the large volume of data, the study level of the natural fracturing can be regarded as acceptable.

Hydraulic conductivity was calculated from transmissivity determined in 330 packer tests of the boreholes (BALLA, MOLNÁR 2004). The mean hydraulic conductivity for the 10 m intervals is about 3×10^{-9} m/s, which is an insignificant value.

Retarding and diluting effects of the hydrogeological system in relation to the arrival of radioactive isotopes to the ground surface was studied by transport modelling (BALLA et al. 2004). In the hydrogeological system water movement is slow and the flow paths are long. The transport modelling performed demonstrated that water particles starting from the repository, even in the worst case, would not reach the ground surface before 800 years. In the given groundwater-head conditions in the repository area (with 1% porosity), the flow velocity can be estimated at 0.1 m/year. Thus the retarding effect obviously exists.

Water, which flows from the fresh granite into the weathered zone below the valleys, only gives a little of the water balance of the weathered zone: 3.3–4.3% according to hydrogeological calculations and a maximum of 5–6% according to hydrogeochemical evaluation. Thus the dilution is acceptable as well.

The retarding, delaying and binding effect of the geological barrier on arrival of radioactive isotopes to the ground surface originates, in essence, from the retarding and diluting effect of the hydrogeological system (see above). It is com-

posed of the peculiarities of the geological environment discussed below.

Those mineralogical-petrographical and geochemical parameters of the geological environment, which promote precipitation or sorption of radioactive elements, impede the generation of particles, colloids, and organic and inorganic complexes, which increase the mobility of radioactive isotopes, can be characterised as follows. The sorption of radioactive isotopes were studied by direct investigation on minerals and rocks of the geological environment (HORVÁTH et al. 2004). Sorption parameters of the host rock of the Bábaapáti (Üveghuta) Site appeared to be acceptable. The precipitation of radioactive isotopes is essentially one of the relevant processes of the sorption. Thus the qualification of the sorption given above contains the qualification of the precipitation as well. In water which filtrates through the granite, stable natural colloids are not expected (see below). "Generation of organic and inorganic complexes, which increase mobility of radioactive isotopes", is impossible in the granites of the Bábaapáti (Üveghuta) Site. Therefore, the prescribed parameters of the Bábaapáti (Üveghuta) Site are acceptable.

The sorption and ion exchange capacity of the geological environment can be outlined as follows. The sorption capacity for some of the radioactive isotopes appeared to be quite acceptable. In most of the fissures there are clay minerals, and thus for those isotopes the sorption capacity of the rock mass is acceptable as well. It is known, on the other hand, that the binding of I, ^{14}C and Tc cannot be taken into account, and that isotope ^{86}Sr is usually not inclined to be bound. Ion exchange is one of the relevant processes of the sorption and so the ion exchange capacity of the geological environment is in essence as good as the sorption capacity.

Natural colloids and organic matter in the geological barrier can be outlined as follows. 11 samples were studied for natural colloids. Small values of the concentration of floating matter show that stable colloids, which could transport pollutants on their surface, cannot be expected in the real system; most of the colloids appeared due to the drilling and sampling activity. Organic matter *ab ovo* cannot be expected in the granite of the Bábaapáti (Üveghuta) Site, and it can only appear in ground water. Geological conditions do not allow ground water to contain a significant quantity of natural organic matter. Infiltration areas are composed of loess which originated in oxidative conditions. The organic matter of the palaeosols which originated from loess is oxidised soon after burial, and the rest of the organic matter is insoluble in water and bacteria cannot use it extensively.

In the old water the sulphate concentration is low; in 6 samples hydrogen sulphide was observed (0.05–0.48 mg/l, expressed in sulphides). This phenomenon is explainable in terms of sulphate reduction due to bacterial activity. Thus, even in deep-situated old water, the quantity of organic matter is sufficient for bacteria. The role of the latter is, however, insignificant, and does not influence the geological suitability.

Concerning the *occurrence of natural gases* the following can be stated. During the exploration it was ascertained that

there are no conditions for both the generation and storage of free gases in the granite of the Bábaapáti (Üveghuta) Site.

Dynamic criteria

Those criteria are regarded as dynamic which need prediction with regard to future changes.

Criteria, such as (i) *effects from the climatic changes on the ground surface*, (ii) *geomorphic stability* as well as (iii) *effects from the erosion* and (iv) *from the hydrographic changes in a six hundred year perspective*, are connected with each other and can be predicted by the projection of past events and processes into the future. The valley system in the Site surroundings — at least, from the beginning of the loess accumulation, *i.e.* since a minimum of 800,000 years — displays approximately its present pattern. With time the valleys have cut deeper, the topography has become more dismembered, but the total cut usually did not exceed 50 m. The six hundred years of the prediction are three orders of magnitude shorter than the process outlined. During the 800,000 years, processes of valley cutting and filling — primarily due to climatic effects — periodically changed. The summary duration of the opposite half-periods was approximately equal, so the cutting of the valleys took a minimum of 400,000 years. As a consequence, the topographical change during 600 years can, on average, be measured in cms. All these processes cannot influence the repository which is planned at least 100 m below the deepest valley bottom (a minimum of 100 m above sea level).

The seismological or seismic stability in a six hundred year perspective, as well as the *effect of seismic events on the mechanical stability of the engineering and geological barriers*, were evaluated as follows. The earthquake hazard was analysed on the basis of a new catalogue for a 300–400 km radius around the Site. It was stated that in the granite massif hosting the repository at a 250 m depth, during the 600 years prescribed by the Decree a maximum of 0.1 g peak ground acceleration can be expected. This is a usual criterion for radioactive waste disposal facilities (SCHENK et al. 2004).

Concerning the *volcanic stability in a six hundred year perspective*, as well as the *effect of volcanic events on the mechanical stability of the engineering and geological barriers*, the following remarks can be made. The volcanic stability of the Site is characterised by the fact that in the wide surroundings practically no volcanism occurred in the Cenozoic and Quaternary. The closest occurrence of young volcanic rocks is known 18 km SSE of the Site, at the Village of Bár. In the outcrop and the borehole present there, young basalts occur with a K/Ar age of 2.17 million of years. The closest occurrence of even younger volcanic activity is situated in the East Carpathians, 450–500 km from the Site. As a consequence, it seems improbable that a new volcano will erupt close to the village of Bábaapáti. Given this, it can be said that the volcanic stability of the Site is quite acceptable.

This also means that the effect of volcanic events will be negligible in the next six hundred years — *i.e.* volcanic

events will not affect the mechanical stability of the engineering and geological barriers of the Site.

The criterion referring to *normal faults, folds, reverse faults* prescribes the study of these features. In the metamorphosed magmatic rocks of the Mórógy Granite Formation there are no folds, and thus they are not discussed here. Besides the normal and reverse faults strike-slip faults occur as well; all of them are discussed below. The study of the faults was very detailed (MAROS et al. 2004). Fracture zones penetrated by boreholes were summarised, and on the basis of striae the sense of displacements was supposed. The striae made it possible to statistically study displacements not related to fracture zones and to distinguish several stress fields. Displacements were also studied in outcrops and trenches. On the one hand, they were considered statistically, resulting in stress-field analysis. On the other hand, the fracture zones were classified on the basis of the direction of relative displacements. As seen, the study level of the faults is acceptable.

The *tectonic stability in a six hundred year perspective*, as well as the *effect of tectonic events on the mechanical stability of the engineering and geological barriers*, were evaluated as follows. Structural research evaluated plastic and rigid tectonic events as well as their effect (MAROS et al. 2004). The position of the rock mass hosting the future repository within the Earth's crust does not make possible the conditions for the plastic deformation. Therefore, stability from this viewpoint is sure. In connection with these criteria the stability of the fracture zone and micro-fracturing pattern will be discussed below.

The stability of the fracture zone pattern is connected with the seismic stability (see above) and with the potentially active (capable) faults (see below). Since the seismic stability is acceptable and displacements on the potentially active faults cannot be established for the last 100,000 years, the stability of the fracture zones in a six hundred year perspective is acceptable as well.

The stability of the micro-fracturing pattern can also be evaluated from the knowledge on the earthquakes and active faults. Since they were regarded as stable, their effect on the micro-fracturing can also be classified as acceptable. This does not mean that earthquakes in the next 600 years cannot produce new fractures or rejuvenate existing ones, but it is of very low probability that they can change the pattern of the micro-fracturing.

Another approach to the fracture stability consists of the following. There are not too many data on the age of the fissure infillings, but they display — with no exception — Mesozoic ages, the youngest of them being Late Cretaceous. As a consequence, tectonic stability for the next 600 years can be regarded as acceptable. At the same time, this also means that the effect from the tectonic events in a six hundred year perspective is negligible. Consequently, tectonic events do not affect the mechanical stability of the engineering and geological barriers.

The criterion referring to *displacement on the ground surface within the last hundred thousand years and poten-*

tially active faults belongs to that minority in the Decree which gives figures. Principally, all the faults are potentially active since they can be rejuvenated in a corresponding stress field. At the Bábaapáti (Üveghuta) Site fractures and fracture zones run towards the base of the thick Quaternary sedimentary sequence. Accumulation of this sequence started at least 800,000 years ago. All the fractures which do not cross the base of the Quaternary sediments have been inactive for at least 800,000 years — *i.e.* they cannot be classified as potentially active. The simplest criterion of the potential activity is that the fracture or fracture zone within the rocks of the Mórógy Granite Formation cuts at least the lowermost layer of the Quaternary sequence.

In the close vicinity of the Site, two trenches exposed Upper Pleistocene slope sediments of 0–2 m thickness and these run along their total 1500 m length. In them, even a small fault or joint was not recorded despite the very careful mapping (GYALOG et al. 2003). However, they should have been clearly visible in the sediments in the top of the hard granite.

In one of the seismic profiles measured at the Site in 2002 a 150 m wide vertical strip break of reflections interrupted the soft sediment pattern. This generated suspicion about the occurrence of a tectonic displacement within the last 100,000 years (PRÓNAY et al. 2004). In order to clarify the situation, the Eötvös Loránd Geophysical Institute performed measurements of greater density along a 500 m section of the same profile (VÉRTESY et al. 2003). The break of the reflections in the profile was narrowed to a 30 m strip. Cone penetration testing along the same profile revealed that the stratification of the loess is continuous, and the contrast between the layers is analogous within the break of reflections and sections beyond the break. This means, that the break of reflections does not have a geological origin and thus no young displacement within the break can be established.

As a consequence, displacement which is younger than 100,000 years can be excluded at the Site.

The criterion *mineralogic-petrographic and geochemical stability in a six hundred year perspective* was evaluated as follows. Mineralogic-petrographic and geochemical composition as well as the geomechanical properties of the metamorphosed igneous rocks of the Mórógy Granite Formation were affected first of all by hydrothermal alterations and weathering processes during their more than 300 million years lifetime.

The hydrothermal effect took place mainly within, and in the vicinity of the fractures and fracture zones. The repository most probably will be sited in a rock mass with no significant fracture zones and with a low number of fractures. Therefore, hydrothermal alteration of the fractures and fracture zones will be insignificant in the repository area. The hydrothermal alteration of the rocks in the vicinity of the fractures and fracture zones has *ab ovo* been weak. Since hydrothermal alteration occurred over millions of years it is very unlikely that there will be significant changes within the next 600 years.

The effect of weathering is observable on the upper boundary of the rock mass and within the weathering zone below this boundary. The repository will be constructed deeper, in fresh rocks where weathering effects will be completely absent. The vertical distance between the repository and the bottom of the weathering zone (100 m) everywhere exceeds its total thickness (50–60 m). The generation of the weathering zone was already in progress at the beginning of the loess accumulation, *i.e.* 800,000 years ago. In other words, its recent thickness arose for a minimum of this time interval. As a consequence, no significant changes are to be expected within the next 600 years.

As seen, the mineralogic-petrographic and the geochemical stability of the repository and its surroundings is quite acceptable.

The criterion *hydrogeologic stability and potential hydrogeological changes for various reasons in a six hundred year perspective* was evaluated as follows. Water which infiltrates through the loess sequences feeds ground water in the upper part of the weathered granite. Most of the ground water moves laterally along the slopes, towards the valleys. During the calibration of the hydrogeological model and the modelling itself, it was revealed that oscillation in the volume of infiltrating water is compensated by a corresponding oscillation in the volume of water which moves towards the valleys. As a consequence, the volume of water which infiltrates down towards the depths is practically constant, even if the other parameters show wide variations. In other words, in the geological environment (of the repository) which covers horizons below the weathering zone hydrogeological conditions are very stable. Thus, changes in the flow pattern due to natural causes are highly unlikely.

It was shown that among the parameters — such as changes in tectonics, uplifting, erosion, ground surface topography and climate, as well as seismic and volcanic activity — there is not one which could be significant in a six hundred year perspective. All the possible changes which have a high certainty fall into that category, within which the equalisation effect reflected in hydrogeological stability is valid.

Summary on the suitability

From the exploration performed and the analysis presented above it can be concluded that all the criteria formulated in the IKIM Decree are fulfilled, and thus it can be stated that the Site is geologically suitable.

Concept of further exploration

The final conclusion from the 2002–2003 exploration from the ground surface was that the Bábaapáti (Üveghuta) Site is geologically suitable for the final disposal of low- and intermediate-level radioactive waste. However, further exploration is needed for the selection of a rock volume for the

repository. From geological conditions it follows that in this exploration the main focus will be upon underground methods.

The goals of the underground exploration can be outlined as follows:

- delineation of a rock volume for hosting the repository;
- exploration of that rock volume to create a basis for a decision on the siting of the facility if results are advantageous, and continuing the exploration if they are disadvantageous;
- supplying data for the safety assessment (*i.e.* to the extent which is possible after activities performed for reaching the first two goals).

There is no doubt that the repository area will be approached by inclines from a previously selected point.

Within the generally suitable rock mass of the Site sections of Boreholes Üh–3, Üh–22, Üh–2, Üh–23, Üh–27 and Üh–37 around 0 m above sea level can be taken into account when selecting the repository area. On the horizon 0 m above sea level, data from borehole couples Üh–3 and Üh–22, Üh–2 and Üh–23 and Üh–27 and Üh–37 can be united into three prospective objects: Southern, Central and Northern, respectively (Figure 1).

Available data are insufficient to select one of the three objects. From a rock-mechanical point of view, the Northern Object seems to be best, and it can be reached by the shortest way. This is significant economically. On the other hand, from a hydrogeological point of view the weak downward-directed hydrodynamic gradient, relative high influxes in Boreholes Üh–27 and Üh–37, as well as the sharply evident hydrodynamic connection between these boreholes and geochemical zoning indicate an increasing infiltration velocity. It is not clear whether these disadvantages (although not resulting in unsuitability) hydrogeological properties are connected with a steep zone close to Boreholes Üh–27 and Üh–37 or are characteristic for a horizontally extended area. The key question for designing the underground exploration is the future of the Northern Object.

The tunnels for the underground exploration from the viewpoint of both technical conditions and tasks, have to be subdivided into two sections. One of them will be driven in any case (from the design viewpoint), direction and length of the other will depend on exploration results. The section which has to be driven in any case can be identified in a technical sense with the incline (across Boreholes Üh–39 and Üh–40 in Figure 1); the section depending on the exploration results is imagined as a horizontal tunnel. In accordance with this, the section which has to be driven in any case (in the design sense) has to be directed to a point from which it will be worthwhile and possible to drive the horizontal tunnel to any of the three objects.

The spatial distribution of the three objects is close to linear. As a consequence, the final point of the incline can be located 40 m east of the Borehole Üh–27. From geological and hydrogeological considerations this point is located at 0 m above sea level. The horizontal distance between the start-

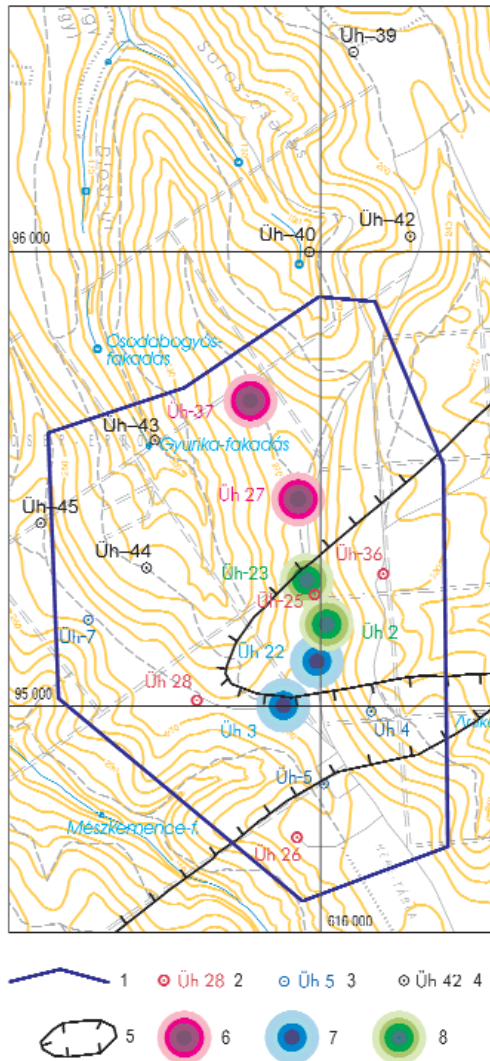


Figure 1. Sketch of the boreholes which indicate where the repository could be located

1 – contour of the Bábaapáti (Üveghuta) Site, 2 – borehole drilled in 2002–2003, 3 – borehole drilled prior to 2002, 4 – deep borehole planned in 2004–2007, 5 – contour of the monzonitic body on the horizon 0 m asl, 6 – boreholes indicating the Northern Object, 7 – boreholes indicating the Southern Object, 8 – boreholes indicating the Middle Object

1. ábra. A tároló kialakítására alkalmas objektumokat jelző fúrások térképe

1. – a Bábaapáti (Üveghutai)-telephely körvonala, 2. – 2002–2003 folyamán mélyített fúrás, 3. – 2002 előtt mélyített fúrás, 4. – 2004–2007-re tervezett mélyfúrások, 5. – a monzonittest körvonala a 0 m Bf szinten, 6. – az Északi objektumot jelző fúrás, 7.– a Déli objektumot jelző fúrás, 8. – a Középső objektumot jelző fúrás

ing and ending points is 1645 m. Consequently, the inclination is around 9.6% (5.5°) which seems to be acceptable from a technical point of view. The corresponding spatial distance is 1653 m.

By the time the incline reaches its endpoint it should have been decided where to direct the horizontal tunnel. Since the Central and Southern Objects fall almost on a line, the most important question is what to select: those or the Northern Object. The strip across Boreholes Üh–27 and Üh–37 is problematic from a hydrogeological point of view. Therefore, for the decision about whether to explore the Northern Object or not further data are needed. From the tunnels, a maximum of 150–200 m can be reached by drilling. Therefore, it seems more reliable to drill boreholes from the ground surface in order to prepare this decision. For obtaining information needed for delineating prospective rock masses, *i.e.* for directing tunnels, 3 new boreholes from the ground surface are planned (Figure 1) synchronously with the underground exploration.

On the basis of data from the boreholes drilled from the ground surface it can be decided whether to direct the tunnel towards the Northern Object (and if so, more precisely where to), or towards the Central Object. It could occur that on the basis of new borehole data the last section of the incline will also be deviated towards the Northern Object.

Chambers will be driven after the incline has reached 1300 m. Exploration of the environment by means of borehole fans will be performed from the chambers. This should provide more precise knowledge on the spatial position and parameters of the petrographical boundaries, the fracture zones, and the specific hydrogeological zones which were observed in the incline. This drilling activity has to be continued from the chambers of the horizontal tunnel as well; it will be the most important tool for selecting and delineating prospective rock masses. However, this tool can only be used when the prospective rock masses are approached at 50–100 m.

A number of questions related to the site environment remained open and although these do not influence the suitability of the Site, solving them should increase the reliability of the safety assessment. Therefore, synchronously with the underground exploration, all the investigations and studies which are necessary for a better understanding of the geology and hydrogeology of the site environment will be carried out.

Acknowledgements

The author is very grateful to his colleagues István Horváth, Gyula Maros, Péter Molnár, Erzsébet Rálsch-Felgenhauer, Ágnes Rotár-Szalkai and György Tóth, who gave significant help in formulating the fulfilment of the suitability criteria.

References — Irodalom

- BALLA, Z. 1997: Site exploration for low and intermediate level radioactive waste disposal, 1993–1996 (Kis és közepes radioaktivitású hulladékok elhelyezését célzó földtudományi kutatás, 1993–1996). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 1996/II.*, pp. 27–45.
- BALLA, Z. 2000: Exploration and characteristics of the Üveghuta site (Az üveghutai telephely kutatása és összesítő ismertetése). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2000*, pp. 59–90.
- BALLA, Z., MOLNÁR, P. 2004: Hydrodynamic testing of boreholes at the Bábaapáti (Üveghuta) Site [Kútvizsgálatok a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen]. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- BALLA, Z., HORVÁTH, I., TÓTH, GY., BENEDEK, K., MEZŐ, GY., MOLNÁR, P. 2004: Hydrogeological pattern of the Bábaapáti (Üveghuta) Site [A Bábaapáti (Üveghutai)-telephely vízföldtani képe]. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- GYALOG L., JÁMBOR Á., KÓKAI A., MAROS GY., PEREGI ZS., KONRÁD GY., MÁTHÉ Z., SZEBÉNYI G. 2003: A bábaapáti A1 és A2 árok földtani leírása (in Hungarian: Geological description of trenches Bábaapáti A1 and A2). – *Manuscript*, Geological Institute of Hungary, Budapest.
- HORVÁTH, I., SZŐCS, T., ROTÁR-SZALKAI, Á., TÓTH, GY. 2004: Hydrogeochemistry and water ages at the Bábaapáti (Üveghuta) Site [A víz-geokémiai viszonyok és a vízkorok alakulása a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen]. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- KIRÁLY, E., KOROKNAI, B. 2004: Magmatic and metamorphic evolution of the north-eastern Mórág Block (A Mórág-rög ÉK-i részének magmás és metamorf fejlődéstörténete). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- KOVÁCS-PÁLFFY, P., FÖLDVÁRI, M. 2004: Hydrothermal minerals and features in the Mórág Granite Formation (Hidrotermális képződmények és jelenségek a Mórági Gránit Formációban). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- MAROS, GY., KOROKNAI, B., PALOTÁS, K., FODOR, L., DUDKO, A., FORIÁN-SZABÓ, M., ZILAH-SÉBESS, L., BÁN-GYÖRY E. 2004: Tectonics and structural history of the north-eastern Mórág Block (A Mórág-rög ÉK-i részének tektonikája és szerkezet-alakulása). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- MARSI, I., DON, GY., FÖLDVÁRI, M., HORVÁTH, I., KOLOSZÁR, L., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KROLOPP, E., LANTOS, M., NAGY-BODOR, E., ZILAH-SÉBESS, L. 2004: Quaternary sediments of the north-eastern Mórág Block (A Mórág-rög ÉK-i részének negyed-időszaki üledékei). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- PRÓNAY ZS., NEDUCZA B., TÖRÖS E. 2004: Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tervezett üveghutai tárolójával kapcsolatos, ELGI által 2002-ben végzett geofizikai munkálatok. P- és S-hullám szeizmikus reflexiós mérések, Bábaapáti (Üveghuta), 2002 (in Hungarian: Geophysical survey performed by ELGI in 2002 in connection with the Üveghuta repository for low- and intermediate-level radioactive waste. Seismic reflection survey using P and S waves). – *Manuscript*, Geological Institute of Hungary, Budapest.
- ROTÁR-SZALKAI, Á., HORVÁTH, I., MARSÓ, K., MURÁTI, J., NAGY, P., SZŐCS, T., TÓTH, GY. 2004a: Recharge and discharge conditions in the north-eastern Mórág Block (Utánpótlódási és megcsapolási viszonyok a Mórág-rög ÉK-i részén). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- ROTÁR-SZALKAI, Á., HORVÁTH, I., MARSÓ, K., NAGY, P., Ó. KOVÁCS, L., SZŐCS, T., TÓTH, GY. 2004b: Hydrogeological monitoring network at the Bábaapáti (Üveghuta) Site [Vízöldtani megfigyelőhálózat a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen]. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- SCHENK, V., BALLA, Z., SCHENKOVÁ, Z., KOTTNAUER, P., DUDKO, A., MAROS, GY., PICHL, R., JECHUMTÁLOVÁ, Z., JECHUMTÁL, M. 2004: Earthquake hazard assessment of the Bábaapáti (Üveghuta) Site [A Bábaapáti (Üveghutai)-telephely földrengéskockázata]. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003* (this volume).
- VÉRTESY L., FEJES I., PRÓNAY ZS. 2003: Kiegészítő geofizikai mérések (in Hungarian: Complementary geophysical survey). – *Manuscript*, Geological Institute of Hungary, Budapest.

A Bátaapáti (Üveghutai)-telephely földtani alkalmassága és továbbkutatási koncepciója

BALLA ZOLTÁN

Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

Tárgyszavak: Délkelet-Dunántúl, felszín alatti elhelyezés, felszín alatti víz, gránitok, kis aktivitású hulladék, Magyarország, Mórágyi-rög, radioaktív hulladék, telephelykutatás, törékes övek, vízvezető képesség

Összefoglalás

A nemzetközi gyakorlat alkalmasságot csak általában véve ismer, s annak megállapítását a biztonsági értékelés feladatává teszi. A földtani alkalmasság fogalmát hazai jogszabály vezette be. Gyakorlati értelme az, hogy konkrét szempontrendszer adjon a földtani hatóságnak a radioaktív hulladékok tárolójának létesítése előtt földtani kutatás eredményeinek elbírálásához.

A tanulmányban végigvesszük a jogszabályban előírt követelményeket, és ismertetjük azok teljesülését. A telephely-kijelölési, valamint a statikus és dinamikus telephely-jellemzési követelmények elemzése nyomán megállapítottuk, hogy a jogszabály előírásai teljesülnek, így a Bátaapáti (Üveghutai)-telephely földtani alkalmassága kimondható.

A lefolytatott kutatás részletességével összhangban a kijelölt telephely alapterülete 0,87 km², függőleges vastagsága 80 m. Ugyanakkor a tároló várható mérete 0,07 km², függőleges vastagsága 10-30 m. Ebből következően további kutatásra van szükség a tárolótér kijelöléséhez.

A további kutatást döntően felszín alatti módszerekkel, egy — műszaki okokból kettős — lejtőszaknával és a 0 m Bf szinten (a felszín alatt max. 270 m-re) kihajtott alapvágattal, valamint az ezekben és a belőlük mélyített fúrásokban elvégzett vizsgálatokkal tervezzük. A vágatok nyomvonalának csak első szakasza tervezhető pontosan, a további szakaszok meghatározása kiegészítő felszíni fúrások és geofizikai mérések nyomán lehetséges.

Bevezetés

A radioaktív hulladékok elhelyezésének nemzetközi gyakorlata nem ismeri a földtani alkalmasság fogalmát. Egyeséges alkalmasságot ismer, amelyet a biztonsági értékelés határoz meg.

A földtani alkalmasság fogalmát a „Földtani és bányászati követelmények a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez” című 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet vezette be. Ez a fogalom lehetővé teszi, hogy a radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatos földtani kutatást és annak eredményeit a Magyar Geológiai Szolgálat hatóságként, és nem tisztán szakmai, hanem valamilyen, közvetlenül a radioaktív hulladékok elhelyezését érintő szempontból bírálja el.

A jogszabályi definíció szerint a *földtani alkalmasság* „a létesítmény biztonsági követelményei szempontjából meghatározó földtani adottságok kedvező minősítése”, a

földtani adottságok pedig „a földtani környezet ásvány-kőzettani, geokémiai, geomechanikai, geofizikai, tektonikai, rétegtani, hidrogeológiai, radiometriai, fejlődéstörténeti jellemzői, melyek meghatározóak a tervezett létesítmény és a tevékenység szempontjából”.

A rendelet megalkotását az 1996. évi CXVI. törvény „az atomenergiáról” (Atomtörvény) írta elő. A törvény egy sor egyéb jogszabály elkészítését is előírta, de ezek közül éppen az, amelynek a tárgyalt témakörhöz a legközvetlenebb kapcsolata lett volna, csak 2003-ban készült el. Ez volt a 47/2003. (VIII. 8.) ESZCSM rendelet „a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív anyagok sugár-egészségügyi kérdéseiről”. Mikor tehát az IKIM rendelet megjelent, nem volt az Atomtörvénynek megfelelő szabályozás sem az alkalmasságra általában, sem az azt meghatározó biztonsági értékelésre.

Valószínűleg ennek következménye, hogy azokat a kérdéseket, amelyek egyfelől a földtani környezet, másfelől a hulladék és a tároló kölcsönhatásait érintik — s amelyekkel szerte a világon nem a földtani kutatás, hanem a biztonsági értékelés foglalkozik —, az IKIM rendelet a földtani kutatás feladatai közé utalta. Ez arra vezetett, hogy már akkor nyilatkozni kellett a földtani környezet és a hulladékok + tároló kölcsönhatásáról, amikor az utóbbiakról jószerével még nem volt információ, s geológusoknak kellett állást foglalniuk olyan kérdésekben, amelyek nem tartoznak a kompetenciájukba.

Az IKIM rendelet hosszú ideje felülvizsgálat és átdolgozás alatt van, csak remélhetjük, hogy ennek eredményeként olyan jogszabály születik, amely harmonizál az ESZCSM rendelettel, s azzal összhangban megszabadítja a geológusokat mindazoktól a feladatoktól, amelyek a biztonsági értékelés hatálya alá esnek. E bizalom alapján az alábbiakban a földtani alkalmasságnak csak azokat az aspektusait tárgyaljuk, amelyek a földtudományok témakörébe esnek, s tároló-konceptiótól és hulladékcsoomagolástól függetlenül is megítélhetők. Új jogszabály hiányában ezeket az aspektusokat a hatályos IKIM rendeletet szem előtt tartva vesszük sorra. Az az információ, amelynek alapján a földtani alkalmasságot megítéljük, részben korábbi kutatásaink (BALLA 1997, 2000), részben a jelen kötetben lévő tanulmányok (BALLA et al. 2004; HORVÁTH et al. 2004; KIRÁLY, KOROKNAI 2004; KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004; MAROS et al. 2004; MARSJ et al. 2004; ROTÁRNÉ et al. 2004a; SCHENK et al. 2004) eredménye.

A telephely-kijelölés földtani követelményei

Tőzeg vagy anhidrit, továbbá evaporittömzsök a telephely széles környezetében nem fordulnak elő, a befogadó kőzet nem oldható. Karsztosodásra hajlamos képződmények a telephely környezetében sem a felszínen, sem a felszín alatt nem fordulnak elő. A telephely 10 km-es körzetében meglévő felszín alatti ivóvízbázist és utánpótlódási területét jelzi a 13 üzemelő közüzemi vízművet ellátó összesen 22 kút, azonban az IKIM rendelet ezeknek csak a vizsgálatát írja elő, a kapott eredmények alkalmazását illetően nem ad felvilágosítást. A telephely 10 km-es körzetében potenciális ivóvízbázis nincs. Ásvány-, gyógy- és termásvíz meglévő és potenciális termelőhelye a telephely környezetében nem fordul elő. Nyilvántartott ásványnyersanyag-lelőhely a telephely 10 km-es környezetében nincs, potenciális 3 db van (a legközelebbi 4 km-re), mindhárom kőszéntelepes. Az IKIM rendelet ezeknek csak a vizsgálatát írja elő, a kapott eredmények alkalmazását illetően nem ad felvilágosítást. Természetes üregek (nyitott kőzethasadékok, karszt- vagy más eredetű barlangok) a hulladéktároló földtani környezetében nincsenek, és nem is várhatók.

A mesterséges üregek és műtárgyak (felhagyott vagy működő bányák, pincék, el nem tömedékelt mélyfúrások stb.) témakörben a helyzet a következő. A telephely 10 km-es körzetében hét bejegyzett bányatelek (agyag, homok,

gránit) és három kutatási terület található, valamennyi több km-re a telephely körvonalától. Pincék döntően települések területén találhatóak, amelyek tároló létesítése szempontjából eleve nem vehetők figyelembe. Néhány pince túl esik a települések határán, azonban kivétel nélkül lejtők tövében, völgytalpak közelében van, ahol tároló létesítése szóba se jöhet. Az üveghutai kutatás keretében mélyült fúrások közül az Üh-1 és Üh-24 jelűt tömedékeltük el, a többi nyitva van, s vízfigyelésre szolgál. A korábbi mélyfúrások közül a telephely területére eső két fúrást a Mecsekérc tömedékelt. Egyéb mesterséges üreg a telephely környezetében nem található.

A Bábaapáti (Üveghutai)-telephely kijelölése tehát megfelelt a jogszabályi követelményeknek.

A telephely jellemzésével kapcsolatos földtani követelmények

A telephely jellemzésével kapcsolatos, az IKIM rendeletben megfogalmazott földtani követelmények teljesülését statikus és dinamikus követelményekre osztva tárgyaljuk.

Statikus követelmények

Statikusnak azokat a követelményeket tekintjük, amelyek a telephely jelenlegi adottságainak jellemzésére irányulnak.

A befogadó kőzet térbeli kiterjedése elegendő, mert befogadó kőzet alatt a Mórággyi Gránit Formáció kőzeteiből álló egész kőzetestet értjük, amelynek felszíni kiterjedése 18×7 km, mélységi kiterjedése pedig geofizikai adatok alapján legalább 2-3 km.

A befogadó kőzet földtani adottságainak homogenitását az IKIM rendelet csak előírja, de nem pontosítja, milyen adottságoknak, milyen fokú homogenitását kívánja meg. A homogenitásba elvileg bármi beleérthető: a törékes övek, a összes repedés vagy a nyílt repedések, továbbá a szivárgási tényező vagy a vízszintek eloszlása stb. Mindezen paraméterek eredője a földtani alkalmasság szempontjából végső fokon a vízáramlás. A befogadó kőzetben mért kútvizsgálatok 10^{-6} és 10^{-12} m/s intervallumban szolgáltatott szivárgási tényező adatokat (BALLA, MOLNÁR 2004). A környezet tehát lokálisan nagymértékben inhomogén, nagyobb térrészben azonban a természetes vízáramlási sebességtér meglehetősen homogén. Ennek az az oka, hogy a tesztekben vizsgált vízvezető törések, repedések végesek, méteres-tíz méteres nagyságrendűek. A nagyobb térrészben viszont ezen törések eredő vízvezető képessége és a hozzá tartozó regionális potenciális határozza meg az átáramló vizek sebességét. Ugyanilyen következtetésre jutunk az alábbi egyszerű gyakorlati megfontolás alapján is. A hasznosítható vízkészletek szempontjából a gránit egységesen rossz vízadónak minősíthető, belőle vízellátásra érdemes vízmennyiség még lokális, eseti vízellátásra sem termelhető. Ebből a szempontból tehát a gránit szintén homogénnek minősíthető.

A földtani környezet és a befogadó kőzet megismerhetőségét maguk a kutatási eredményeink igazolják, amelyekről e kötet számos cikkében (BALLA et al. 2004; HORVÁTH et al. 2004; KIRÁLY, KOROKNAI 2003; KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDEVÁRI 2004; MAROS et al. 2004; MARSI et al. 2004; ROTÁRNÉ et al. 2004a; SCHENK et al. 2004) beszámolunk. A földtani környezet és a befogadó kőzet modellezhetőségét legjobban a működő és eredményes vízföldtani modellek (BALLA et al. 2004) bizonyítják.

A befogadó kőzet hővezető képessége kritérium kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével összefüggő alkalmazását illetően az IKIM rendelet ellentmondásos: egyik előírása szerint kell vizsgálni, a másik szerint nem. A radioaktív hulladékok végleges elhelyezését szabályozó 47/2003. ESZCSM rendelet szerint „kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak az a radioaktív hulladék minősül, amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható”. A Bábaapáti (Üveghutai) tároló esetében tehát a befogadó kőzet hővezető képességének nincs jelentősége.

A *kis in situ* hőmérséklettel kapcsolatban az IKIM rendelet ugyancsak ellentmondásos előírásokat tartalmaz. A fúrásokban mért legnagyobb hőmérséklet mind a telephelyen, mind a telephely környezetében 24,9 °C volt. Ez az adat még abban az esetben is, ha a hőmérséklet a méréskor még nem állt vissza teljesen az eredeti szintre, nyilvánvalóan azt mutatja, hogy a tárolóban és környékén az *in situ* hőmérséklet nyilvánvalóan kicsi lesz.

A földtani gát megismerhetősége és modellezhetősége lényegileg azonos a földtani környezet és a befogadó kőzet megismerhetőségével és modellezhetőségével, amelyről fentebb bemutattuk, hogy teljesül.

A befogadó kőzet feletti földtani gát az IKIM rendelet szerint „olyan kis vízvezető képességű, nagy kiterjedésű földtani gát, mely képes visszatartani vagy elterelni a tároló felé irányuló vízáramlást”. A Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen a talajvíztükör közelében lezajló oldalirányú áramlás „tereli el a tároló felé irányuló vízáramlást”, azaz betölti az előírt földtani gát szerepét. Létezését legjobban a hidrodinamikai modellezés (BALLA et al. 2004) bizonyítja. A talajvíztükör többnyire a mállott gránit felső részén van, ahol a vízvezető képesség legalább két nagyságrenddel nagyobb, mint a mélyebb szintek üde gránitjában. Az egyéb forrásokból ismeretes beszivárgással és a lefelé csökkenő konkrét vízvezető képességi értékekkel az áramlási rendszert csak úgy lehet modellezni, ha feltételezzük, hogy a beszivárgó víz kb. 95%-a oldalirányban, a talajvíztükör mentén mozog a megcsapolást jelentő völgyek felé, s lefelé, a tároló felé csak a fennmaradó kb. 5%-a szivárog.

A befogadó kőzet vízszintes és függőleges vízvezető képességét kútvizsgálatokkal tanulmányoztuk (BALLA, MOLNÁR 2004). A mélyfúrásokban végzett 330 pakkeres teszt alapján a vizsgálati szakaszok transzmisszivitása lognormál eloszlású, $3,6 \times 10^{-8}$ m²/s átlagos értékkel. A vizsgálati szakaszok hossza átlag 10 m, így a repedezett gránit átlagos szivárgási tényezője 3×10^{-9} m/s, vagyis a repedezett gránit vízvezető képessége jelentéktelen. A vízföldtani model-

lezés tapasztalatai szerint a vízvezető képesség vízszintes és függőleges irányban nem különbözik, anizotrópiát nem lehet kimutatni.

Lefelé mutató hidraulikus gradiens a befogadó kőzetben a potenciálszintek összevetésével igazolható vagy cáfolható. A nyugalmi potenciálszinteket a telephelyi és telephely környéki mélyfúrásokban behatóan tanulmányoztuk kútvizsgálati módszerekkel (BALLA, MOLNÁR 2004) és többpakkeres monitoring-rendszerek több éven keresztül tartó észlelésével (ROTÁRNÉ et al. 2004b). Megszerkesztettük a fúrások potenciálszelvényét, és az adatok 3D-s interpolálásával előállítottuk a telephely térbeli potenciáleloszlását. A fúrások potenciálszelvényében egyes torlasztó-szigetelő, illetve jó vízvezető képességű szerkezetek lokális eltéréseket okoznak, összességében azonban a potenciálszintek a mélységgel csökkennek, így a lefelé mutató hidraulikus gradienst a telephelyen bizonyítottuk.

A természetes repedezettséget behatóan vizsgáltuk (MAROS et al. 2004). Mélyfúrásokban 46 796, feltárásokban 1651, árkokban 6614 törés alapján készítettünk különböző szempontok szerinti értékelést. A repedezettség mértékét töredezettségi vagy repedéssűrűségi összesítésekkel vizsgáltuk mind feltárásokban, mind fúrásokban. A repedezettség mértéke és irányeloszlása alapján blokkokra és tömbökre osztottuk a telephely és környezetének területét. A mozgásnyomokat tartalmazó törések száma 885 volt, ezek alapján feszültségtér-elemzést végeztünk. Igen részletesen vizsgáltuk a repedések kitöltéseit, térbeli eloszlását, egymásutánosságát és anyagi típusait. A képződött adatok óriási számának figyelembevételével a természetes repedezettség vizsgálata jó, megfelelő.

A szivárgási tényezőt a mélyfúrásokban végzett 330 pakkeres teszt alapján meghatározott transzmisszivitásból számítottuk (BALLA, MOLNÁR 2004). A vizsgálati szakaszok átlag 10 m-es hosszúra átlagosan 3×10^{-9} m/s szivárgási tényezőt kaptunk, ami jelentéktelen érték.

A hidrogeológiai rendszer késleltető és hígító hatását a radioaktív izotópok felszínre jutásában transzportmodellezéssel tanulmányoztuk (BALLA et al. 2004). A hidrogeológiai rendszerben a vízmozgás lassú, és az áramlási pályák hosszúak. Az elvégzett transzportmodellezés adatai szerint a tárolóból indított vírzecskék még a legkedvezőtlenebb esetben sem érnek felszínre 800 évnél hamarabb. Az adott potenciálviszonyok között a tároló körzetében (1% porozitással) mintegy 0,1 m/év sebességű vízáramlásra számíthatunk. A késleltető hatás tehát nyilvánvalóan fennáll.

Az üde gránitból a völgyek alatti mállott zónába feláramló vizek a mállott zóna ottani vízforgalmának csak kis hányadát adják: a vízháztartási számítások szerint 3,3–4,3%-át, a víz-geokémiai paraméterekből számítva pedig legfeljebb 5-6%-át. A hígulás tehát ugyancsak megfelelő mértékű.

A földtani gát visszatartó, késleltető és megkötő hatása a radioaktív izotópok felszínre jutásában lényegileg a hidrogeológiai rendszer késleltető és hígító hatásából (l. följebb) és a földtani környezet alábbiakban tárgyalt tulajdonságaiból tevődik össze.

A földtani környezet azon ásvány-kőzettani és geokémiai tulajdonságai, amelyek elősegítik a radioaktív izotópok kicsapódását vagy szorpcióját, gátolják az olyan részecskék, kolloidok, szerves és szervetlen komplexek képződését, amelyek növelik a radioaktív izotópok mobilitását, az alábbiakban jellemezhetők. A radioaktív izotópok szorpcióját a földtani környezet ásványain és kőzetein közvetlen vizsgálatokkal tanulmányoztuk (HORVÁTH et al. 2004). A Bábaapáti (Üveghutai)-telephely mellékkőzetének szorpciós tulajdonságai megfelelőnek bizonyultak. A radioaktív izotópok kicsapódása lényegileg a szorpció egyik konkrét folyamata, így minősítését a szorpció fentebbi minősítése tartalmazza. A telephelyi gránit repedésvizeiben nem várhatók stabil természetes kolloidok (l. alább). Olyan „szerves és szervetlen komplexek képződésére, amelyek növelik a radioaktív izotópok mobilitását”, a Bábaapáti (Üveghutai)-telephely gránittestjében nincs lehetőség. Így tehát a Bábaapáti (Üveghutai)-telephely mellékkőzetének a fentiekben előírt tulajdonságai megfelelőek.

A földtani környezet szorpciós és ioncserélő kapacitása a következő módon vázolható. A radioaktív izotópok egy részére a szorpciós megkötő képesség (kapacitás) igen kedvezőnek bizonyult. A repedések elég nagy részében vannak agyagásványok, tehát ezekre az izotópokra a kőzettömeg szorpciós kapacitása is megfelelő. Ismert tény viszont, hogy a I, a ^{14}C és a Tc érdemi megkötődésére nem számíthatunk, és hogy a ^{86}Sr -izotóp általában rossz megkötődési hajlamot mutat. Az ioncsere lényegileg a szorpció egyik konkrét folyamata, így a földtani környezet ioncserélő kapacitása lényegileg ugyanolyan kedvező, mint a szorpciós kapacitás.

A természetes kolloidokat és szerves anyagokat a földtani gátban az alábbiakban jellemezzük. A természetes kolloidok vizsgálatára 11 db mintát tanulmányoztuk. A lebegőanyag-koncentráció kis értékei azt mutatják, hogy a valószínű rendszerben nem várhatók stabil kolloidok, amelyek felületén szennyezőanyag-szállítás lehetséges volna, s a megfigyelt kolloidok döntő többsége a fúrású tevékenység és az azt követő vizsgálatok eredményeképpen képződött. Szerves anyagok a Bábaapáti (Üveghutai)-telephely gránitjában eleve nem várhatók, jelenlétükkel csak a felszín alatti vizekben kell számolnunk. A földtani felépítésből következően a felszín alatti vizekben kevés természetes eredetű szerves anyagra számíthatunk. A beszivárgási területeken a fedőüledék lösz, amely oxidatív körülmények között keletkezett. A belőle képződött talajok szerves anyaga a betemetődés után gyorsan oxidálódik, a maradék szerves anyag pedig már nem oldható vízben, és a baktériumok is csak kevésbé tudják felhasználni.

Az idős vizekben csökken a szulfát mennyisége, és 6 esetben kénhidrogént észleltünk (0,05–0,48 mg/l, szulfidban kifejezve). Ez a jelenség az elvégzett vizsgálatok tanúsága szerint szulfátredukáló baktériumok hatására vezethető vissza. Így tehát még a mélyebb, idősebb vizekben is van annyi oldott szerves anyag, hogy baktériumok élhessenek. Szerepük azonban jelentéktelen, s a földtani alkalmasságot nem befolyásolja.

A természetes gázok előfordulásait illetően a következőket mondhatjuk. A felszíni kutatás során lefolytatott vizsgálatok során tisztáztuk, hogy a Bábaapáti (Üveghutai) telephely gránitjában a szabad gázfázis kialakulásának a feltételei nincsenek meg, emellett a tárolási feltételek is hiányoznak.

Dinamikus követelmények

Dinamikusnak azokat a követelményeket tekintjük, amelyek jövőbeli változások előrejelzését igénylik.

A felszíni éghajlati változások hatásai, a geomorfológiai stabilitás, valamint a lepusztulási és a vízrajzi változások hatásai hatszáz éves időtávlatban egymással összefüggőnek, és gyakorlatilag a múltbeli események és folyamatok jövőbe vetítésével prognosztizálhatók. A telephely környéki völgyhálózat a löszfelhalmozódás kezdete óta, vagyis legalább 800 000 éve kb. a mai képet mutatja, csak a völgyek mélyebbre vágódtak, a domborzat tagoltabbá vált, de a teljes bevágódás általában nem haladta meg az 50 m-t. A prognózis hatszáz éves időtartama a vázolt folyamatnál három nagyságrenddel rövidebb. A 800 000 év alatt a völgybevágódási és völgykitöltési folyamatok — elsősorban éghajlati hatásra — periodikusan váltakoztak. Az ellentétes félperiódusok összegezett időtartama kb. azonos volt, így a mai völgyek bevágódása minimum 400 000 évet vett igénybe. Hatszáz év alatt tehát a domborzati változás átlagosan legfeljebb centiméterekben mérhető. A jelenlegi völgyek talpszintje (minimum 100 m) alatt, kb. 100 m-rel mélyebben tervezett tárolót tehát mindezek a folyamatok nem érinthetik.

A szeizmológiai vagy szeizmikus stabilitás hatszáz éves időtávlatban és a szeizmikus események hatása a műszaki és földtani gátak mechanikai állékonyságára követelményt illetően a következőt tettük. A földrengés-kockázatot a telephely 300–400 km-es körzetére összeállított új földrengés-katalógus alapján elemeztük, s megállapítottuk, hogy a kb. 250 m mélységben, gránitban tervezett tároló kőzettömegében a földrengések hatására a jogszabályban előírt 600 év alatt maximum 0,1 g talajgyorsulási csúcscsérték prognosztizálható. Erre a talajgyorsulásra szokták tervezni a radioaktív hulladékok tárolóit, vagyis a földrengéskockázat a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen nem okoz tervezési többletkövetelményt (SCHENK et al. 2004).

A vulkanikus stabilitás hatszáz éves időtávlatban és a vulkanikus események hatása a műszaki és földtani gátak mechanikai állékonyságára követelménnyel kapcsolatban az alábbiakat jegyezzük meg. A telephely „vulkanikus stabilitását” az jellemzi, hogy széles környezetben nem volt vulkánosság sem a kainozoikumban, sem a negyedidőszakban. Fiatal vulkanitok legközelebbi előfordulása a telephelytől DDK-re 18 km távolságban, Bár falunál van, itt a felszínen és fúrásban olyan bazalt van, amelynek K/Ar kora 2,17 millió év. Fiatalabb vulkáni tevékenység legközelebb a Keleti-Kárpátokban, a telephelytől 450–500 km-re volt. Mindennek alapján nem látszik valószínűnek, hogy 600 éven belül vulkán törne ki Bábaapáti környékén, vagyis a telephely „vulkanikus stabilitása” megfelelő.

Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a „vulkanikus események” hatása hatszáz éves időtávlatban elhanyagolható, vagyis a „vulkanikus események” nem veszélyeztetik „a hulladéktároló műszaki és földtani gátjainak mechanikai állékonyságát”.

A *vetők, redők, rátolódások* követelmény e jelenségek tanulmányozását írja elő. A Mórággyi Gránit Formáció metamorfizált magmás kőzeteiben redők nincsenek, ezért ezekkel nem foglalkozunk. Vetők és rátolódások mellett eltolódások is előfordulnak, az alábbiakban ezeket is tárgyaljuk. A „vetők, ... rátolódások” vizsgálata igen beható és részletes volt (MAROS et al. 2004). Összesítettük a fúrásokban harántolt töréses öveket, és vetőkarcok alapján az elmozdulás(ok) jellegét valószínűsítettük. A fúrásokban előfordult vetőkarcok alapján a nem törészónákhoz kapcsolódó elmozdulásokat statisztikusan vizsgáltuk, feszültségtereket különítettünk el. Feltárásokban és kutatóárokban is vizsgáltuk az elmozdulásokat, egyrészt szintén statisztikusan, aminek feszültségter-elemzés lett az eredménye, másrészt az észlelt töréses öveket minősítettük az elmozdulás relatív iránya szerint. A jelen fázisban tehát a „vetők, ... rátolódások” ismertsége és tanulmányozottsága megfelelő.

A *tektonikai stabilitás hatszáz éves időtávlatban és a tektonikus események hatása a műszaki és földtani gátak mechanikai állékonyságára* követelmény teljesülését illetően a következőket mondhatjuk el. A tektonikai vizsgálatok a képlékeny és töréses szerkezetfejlődési eseményeket, valamint ezek hatását értékelték (MAROS et al. 2004). A tároló környéki kőzetek elhelyezkedése a földkéregben jelenleg nem teszi lehetővé a képlékeny szerkezetfejlődéshez szükséges körülmények létrejöttét, tehát ebből a szempontból a stabilitás biztosra vehető. Ezért a kérdéskörrel kapcsolatban azt vizsgáljuk, hogy a jelenlegi töréses övek és mikrotörédezettesség eloszlási képe mennyire tekinthető állandónak.

A töréses övek stabilitásának problémaköre összefügg a szeizmikus stabilitás (I. följb) és a potenciálisan aktív törések (I. alább) problémakörével. Mivel a szeizmikus stabilitás megfelelő, és potenciálisan aktív töréseken elmozdulás az utóbbi 100 000 évben nem mutatható ki, a töréses övek stabilitása 600 éves időtávlatban megfelelőnek tekinthető.

A mikrotörédezettesség állandósága szintén a földrendések és az aktív törések oldaláról ítéhető meg. Mivel ezeket stabilnak minősítettük, a mikrotörédezettségre gyakorolt hatásukat is megfelelőnek mondhatjuk. Ez nem azt jelenti, hogy a 600 év alatt bekövetkező földrendések nem hozhatnak létre új repedéseket, vagy nem újíthatnak fel régebbieket, de a mikrorepedezettséggel mintázatát igen kis valószínűséggel változtathatják csak meg.

A törések stabilitását más oldalról is megközelíthetjük. Nem túl sok koradat áll rendelkezésre a törések kitöltéseiből, de azok kivétel nélkül mezozoos kort mutatnak, a legfiatalabb késő-kréta korú. Ebből következően a következő 600 évre a tektonikai stabilitás megfelelőnek tekinthető. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a „tektonikus események” hatása hatszáz éves időtávlatban elhanyagolható, vagyis a „tektonikus események” nem veszélyeztetik „a hulladéktároló műszaki és földtani gátjainak mechanikai állékonyságát”.

Az utolsó százezer évben lejátszódott felszíni elmozdulások, potenciálisan aktív törések követelmény azon kevesek közé tartozik, amelyekre az IKIM rendelet konkrét számot ad meg. Elvileg minden létező törés potenciálisan aktív, hiszen megfelelő feszültségterben bármikor kiújulhat. A Bátaapáti (Üveghutai)-telephelyen a törések és töréses övek vastag negyedidőszaki üledéktakaró fekéjébe futnak ki. Az üledéktakaró felhalmozódása legalább 800 000 éve kezdődött. Mindazok a törések és töréses övek, amelyek nem futnak ki a negyedidőszaki üledékekbe, legalább 800 000 éve inaktívak, tehát nem sorolhatók a „potenciálisan aktívak” kategóriájába. Az utóbbi kategória kritériuma tehát az, hogy a Mórággyi Gránit Formáció kőzetein belül észlelt törés vagy töréses öv elveti a negyedidőszaki üledékeknek legalább az alsó szintjeit.

A telephely közvetlen közelében létesített két kutatóárokban, amelyek 1500 m hosszuk mentén 0–2 m vastagságban tárták fel a gránit fölötti felső-pleisztocén lejtő-üledékeket és holocén talajt, egyetlen kicsiny vetőt, sőt még litoklázist sem sikerült — a leggondosabb feldolgozás ellenére sem — megfigyelni (GYALOG et al. 2003), pedig a kemény gránitaljzatra települt közepes kötöttségű lejtő-üledéknek jól kellene tükröznie ezt.

A telephelyen 2002-ben mért egyik szeizmikus szelvényen a laza üledékben egy kb. 150 m széles függőleges sávban reflexiómegszakadás volt észlelhető, amely felvetette annak gyanúját, hogy az utolsó 100 000 éven belül tektonikai eredetű elmozdulások lehettek (PRÓNAY et al. 2004). A kérdés tisztázására az ELGI ugyanabban a szelvényben 500 m hosszban sűrítő méréseket végzett (VÉRTESY et al. 2003). A szeizmikus szelvényen a reflexiók megszakadása egy 30 m széles sávra szűkült. Az ugyanezen szelvény mentén telepített mérnökgeofizikai szondázásokban a lösz rétegzettsége folyamatos, s a reflexiók szelvényben észlelhető megszakadás és az azon túl lévő szakaszok rétegtérkontrasztjaiban nincs számottevő eltérés. Ez azt jelenti, hogy a reflexiók megszakadásnak nem földtani okai vannak, s így a megszakadáson belül fiatal elmozdulás nem mutatható ki.

Mindezek alapján 100 000 évnél fiatalabb elmozdulás a telephelyen kizárható.

Az ásvány-kőzettani, geokémiai és geomechanikai stabilitás hatszáz éves időtávlatban követelmény teljesülésének megítéléséhez figyelembe kell vennünk, hogy a Mórággyi Gránit Formáció metamorf hatást elszenvedett magmás kőzeteinek ásvány-kőzettani és geokémiai összetételét, valamint geomechanikai tulajdonságait a keletkezésük óta eltelt több mint 300 millió év alatt hidrotermális és mállási folyamatok befolyásolták.

Hidrotermális hatás elsősorban törések és töréses övek anyagában és környezetében lépett fel. A tárolóteret minden bizonnyal úgy jelölik majd ki, hogy nem kerül bele jelentősebb töréses öv, s törés is csak kevés lesz, ezért a törések és töréses övek anyagának hidrotermális elváltozása a tárolóterben jelentéktelen lesz. A törések és töréses övek környezetének hidrotermális elváltozása eleve gyenge. Mivel a hidrotermális elváltozások millió évek alatt jöttek létre, hatszáz éves időtávlatban nem számolhatunk számottevő változással.

Mállási hatás a kőzettest felső határán és az azt kísérő mállási kéregben jelentkezik. A tárolóteret ez alatt, üde kőzetekben fogják kialakítani, ahol mállási hatások egyáltalán nem jelentkeznek. A tárolótér függőleges távolsága a mállási kéreg talpától (100 m) mindenütt jóval nagyobb, mint a mállási kéreg teljes vastagsága (50-60 m). A mállási kéreg kialakulása a lösz-összlet felhalmozódásának kezdetekor, azaz 800 000 éve már folyamatban volt, így mai vastagsága minimum ennyi idő alatt jött létre. Hatszáz éves időtávlatban tehát nem számolhatunk számottevő változással.

A tárolónak és környezetének ásvány-kőzettani, geokémiai és geomechanikai stabilitása tehát megfelelő.

A természetes gázok előfordulásait illetően a következőket mondhatjuk. A felszíni kutatás során lefolytatott vizsgálatok során tisztáztuk, hogy a Bátaapáti (Üveghutai)-telephely gránitjában a szabad gázfázis kialakulásának a feltételei nincsenek meg, emellett a tárolási feltételek is hiányoznak.

Hidrogeológiai stabilitás és különböző okokból potenciálisan bekövetkező hidrogeológiai változások hatszáz éves időtávlatban követelmény teljesülését az alábbi körülmények alapján ítélni meg. A lösz-összleten át leszivárgó vizek a mállott gránit felső részében lévő talajvizet táplálják. A talajvíz nagy része oldalirányban mozog, s a lejtők mentén a völgyekbe jut. A hidrodinamikai modell kalibrációja és a modellezés alapján tisztázódott, hogy a leszivárgó vizek mennyiségének ingadozásait az oldalirányban mozgó víz mennyiségének megfelelő ingadozásai oly mértékben kiegyenlítik, hogy a mélyebb szintekbe jutó víz mennyisége a peremfeltételek szélsőséges változása mellett is gyakorlatilag állandó marad. Más szóval a telephely földtani környezetében, amely elsősorban a mállási kéreg alatti szinteket fogja át, a hidrogeológiai viszonyok rendkívül stabilak, s „természetes okokból bekövetkező potenciális változás az áramlási viszonyokban” nemigen várható.

Láttuk, hogy a „tektonika, kiemelkedés, erózió, felszíni domborzat és klíma változásai, szeizmikus és vulkanikus aktivitás” közül nincs olyan, amely „hatszáz éves időtávlatban” jelentős lenne. Az esetleges változások tehát minden bizonnyal abba a kategóriába esnek, amelyen belül a „hidrogeológiai stabilitást” létrehozó kiegyenlítő hatás teljes mértékben érvényesül.

Alkalmassági összesítés

A lefolytatott kutatás és a fenti elemzés nyomán megállapíthatjuk, hogy a Rendeletben megfogalmazott valamennyi követelmény teljesülése igazolható, így a telephely földtani alkalmassága kimondható.

Továbbkutatási koncepció

A 2002–2003. évi felszíni kutatás záró következtetése az, hogy az Bátaapáti (Üveghutai)-telephely földtanilag alkalmas kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok vég-

leges elhelyezésére, de olyan konkrét kőzettér fogat kijelöléséhez, amelyben tároló kialakítása javasolható, további kutatásra van szükség. A földtani adottságokból következően ezt a kutatást döntően felszín alatti módszerekkel célszerű lefolytatni.

A felszín alatti kutatás céljai a következők:

— konkrét kőzettér fogat kijelölése, amelyben tároló kialakítása javasolható;

— e kőzettér fogat olyan mértékű megkutatása, hogy kedvező esetben létesítmény, kedvezőtlen esetben továbbkutatás tervezéséhez kellő alapot hozzon létre;

— adatszolgáltatás biztonsági értékeléshez olyan mértékben, amelyet az előző két cél elérése érdekében egyébként is lefolytatandó tevékenység lehetővé tesz.

Nem vitatott bemenő adatként kezeljük, hogy a megközelítés egy már jó előre kiválasztott nyitópontról indított lejtaknával történik.

A telephely egészében véve földtanilag alkalmas kőzettömegén belül az Üh-3, Üh-22, Üh-2, Üh-23, Üh-27 és Üh-37 fúrás 0 m Bf körüli szakaszai olyanok, hogy tároló kialakítására alkalmas kőzettér fogat kijelöléséhez alapul szolgálhatnak. A 0 m Bf körüli szinten összevonhatónak látszik az Üh-3 és az Üh-22 (a továbbiakban: Déli Objektum), az Üh-2 és az Üh-23 (a továbbiakban: Középső Objektum), valamint az Üh-27 és Üh-37 fúrás (a továbbiakban: Északi Objektum) adata, így összesen három perspektivikus objektumról beszélhetünk (1. ábra).

Jelenleg nincs elegendő adatunk ahhoz, hogy válaszunk a három perspektivikus objektum közül. Kőzetmechanikai szempontból az Északi Objektum látszik legjobbnak, s ehhez kell a legrövidebb megközelítési útvonal, ami jelentős költségtényező. Ugyanakkor vízföldtani szempontból kedvezőtlen körülmény, hogy a lefelé mutató hidraulikai gradiens itt igen gyenge, a vízbeáramlások éppen ebben az Üh-27 és Üh-37 fúrásban viszonylag nagyok, éppen e két fúrás között mutatkozott a legerősebb hidrodinamikai kapcsolat, s a geokémiai zónásság nagyobb szivárgási sebességről tanúskodik. Tisztázatlan, hogy mindezek a kedvezőtlen (bár alkalmatlanságra nem vezető) hidrodinamikai körülmények egy, az Üh-27 és Üh-37 fúrás közelében futó meredek dőlésű övvel állnak-e kapcsolatban, avagy vízszintes irányban jelentős kiterjedésű területre jellemzőek. A felszín alatti kutatás tervezése során alapvető kérdés, hogy mi lesz az Északi Objektum sorsa.

A felszín alatti kutatáshoz szükséges vágatot mind műszaki, mind feladatszempontból két szakaszra célszerű bontani: egy — tervezési értelemben — mindenképpen és egy, az időközben megjelenő eredményektől függő irányban és hosszban kihajtandó szakaszra. A tervezési értelemben mindenképpen kihajtandó szakaszt műszaki értelemben célszerű azonosítani a lejtaknával (az 1. ábrán látható Üh-39 és Üh-40 fúrásán át), az időközben megjelenő eredményektől függő szakaszt viszont célszerű vízszintesre tervezni. A fentiekkel összhangban a tervezési értelemben mindenképpen kihajtandó szakaszt olyan pontra célszerű irányítani, hogy onnan még a három közül bármely objektum felé érdemes és lehetséges legyen vízszintes vágatot kihajtani.

A három objektum térbeli elrendeződése olyan, hogy a nyitópontról szinte egy vonalra fűzhetők fel. Ebből következően a lejtakna végpontja az Üh-27 fúrástól K-re 40 m távolságban tervezhető. Földtani és vízföldtani megfontolásokból következően e pontot 0 m Bf magasságba tervezzük. A nyitó- és végpont vízszintes távolsága 1645 m, vagyis a lejtés kb. 9,6% ($5,5^\circ$), ami műszaki szempontból elfogadhatónak látszik. A térbeli távolság 1653 m.

Mire a lejtakna leér a végpontra, tisztázni kell, merre megy tovább a vízszintes vágat. Mivel a Középső és a Déli Objektum innen csaknem egy vonalra esik, a döntő kérdés az, hogy ezeket vagy az Északi Objektumot választjuk. Az Üh-27 és Üh-37 fúrást összekötő sáv vízföldtanilag problematikus. Ezért a kőzetmechanikailag kedvező kőzetblokk kijelöléséhez s egyúttal az Északi Objektum kutatási célszerűségének megítéléséhez további adatokra van szükség. A vízszintes vágatból legfeljebb 150-200 m távolságig tudunk fúrni, ezért célszerűbbnek látszik, hogy a döntés előkészítésére a felszínről mélyítsünk fúrásokat. Annak érdekében, hogy a perspektivikus kőzettestek kijelöléséhez, azaz a vágatok irányításához megszerezzük a hiányzó információt, 3 újabb felszíni fúrás lemélyítését javasoljuk a felszín alatti kutatással párhuzamosan (1. ábra).

A felszíni fúrások nyomán születet döntés arról, hogy a vízszintes vágatot az Északi Objektum felé, s ezen belül konkrétan hová irányítsuk, avagy induljunk el vele a Középső Objektum felé. Előfordulhat az is, hogy a felszíni fúrások nyomán már a lejtakna nyomvonalát is célszerű lesz az Északi Objektum felé elfordítani.

A lejtaknából kb. 1300 m-től kezdve kamrákat kell majd kihajtani, s azokból fúrasi legyezőkkel megkutatni a környező térrészt. Ezzel pontosabbá tehetjük a lejtakna alapján körvonalazódó kőzethatárok, tektonikus övek és kitüntetett vízföldtani szerepű zónák térbeli helyzetét és paramétereit. A fúrásos kutatást a vízszintes vágat kamráiból is folytatni kell, ez lesz a legfontosabb eszköz a perspektivikus kőzettestek kijelölésére és lehatárolására. Ahhoz azonban, hogy ezt az eszközt használni tudjuk, a perspektivikus kőzettestet 50-100 m-re meg kell közelítenünk.

A felszíni kutatás során a telephely környezetével kapcsolatban számos olyan kérdés maradt nyitva, amelynek lezáratlansága ugyan az alkalmasságot nem befolyásolja, azonban megoldása a további biztonsági értékeléseket megbízhatóbbá teheti. Ezért a felszín alatti kutatással párhuzamosan lefolytatjuk mindazokat a kutató munkálatokat és vizsgálatokat, amelyek a környezet földtani és vízföldtani felépítésének jobb megismerését szolgálják.

Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönetemet fejezem ki Horváth István, Maros Gyula, Molnár Péter, Rálich Lászlóné, Rotárné Szalkai Ágnes és Tóth György kollégáimnak, akik hathatós segítséget nyújtottak az alkalmassági követelmények teljesülésének megfogalmazásához.