

Gyémántlelőhelyek Jakutiában

Kiss J.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,
1123 Budapest, Alkotás utca 50.
E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

A közelmúltban a „Természetismeret” internetes weboldalon¹⁾ futottam bele egy írásba, amely régi emlékeket hozott fel bennem. A cikk a jakutiai „Mírnyj” (azaz Békés) településen található „Mír” (Béke) nevű kimberlitbányát mutatta be. Diplomagyakorlatom idején jártam Jakutiában, Mírnyjben, a Mír kimberlitbányánál és még néhány másik kimberlitkürtő külfeljárásánál is... 1986-ban szakdolgozatomban a kimberlitkürtők geomágneses kutatásáról írtam. A kimberlit²⁾ a természetes gyémántok elsődleges anyakőzete, azaz ez a kőzet volt a gyémántkutatás fő célpontja, a távoli Jakutföldön, a tundra-tajga határzónájában, az örökké fagyott altalaj birodalmában. Fontos ásványi nyersanyag egy emberek által alig járt/lakott területen, azaz „vad természetnek lágy ölében”. (A mérési terület megközelítése Tu-154, illetve AN-2 repülőgépekkel, majd Mi-8 helikopterrel és „mindenjáró” lánctalpas terepjáróval történt, csak hogy jellemezzem a távlatokat és a lehetőségeket.)

1980-as években járunk, nincs GPS, nincs okostelefon, nincs internet és nincs digitális fényképező, nem volt Google Earth és a személyi PC-k akkor kezdtek kifejlődni,³⁾ valamint ekkortájt jelentek meg az első kisebb, kézi programozható zsebszámológépek. Ezekben az időkben a terület zártsága (titkossága) miatt tilos volt fényképezni a kimberlitbánya környékén (ezért nem volt saját fotóm a kürtőről), s gyakorlatilag minden elérhető földtani, geofizikai és földrajzi térkép titkosnak minősült, vagy titkosítva volt (például nem volt rajta koordináta, csak néhány „szálkereszt”). A kimberlitkürtők neveire csak kezdőbetűvel volt szabad hivatkozni. A dolog érdekessége, hogy erre a területre a szovjet diákokon kívül, csak a testvéri szocialista országok diákjai mehettek gyakorlatra, mindenki másnak a terület zárva volt.

A másik érdekesség – ez már szakmai szempontból –, hogy a kutatási terület egybeesett a szibériai trappbazaltok⁴⁾ elterjedési területével. Mivel mindkét kőzet – a kimberlit és a bazalt is – mágneses, adódott, hogy a legolcsóbb geofizikai módszerek, a mágneses módszernek fontos szerepe volt/lett a gyémántkutatásban. Ennek alapja az eltérő mágnesezettség, eltérő geometria és az eltérő mélységi elhelyezkedés volt. Ezeknek a paramétereknek fontos szerepe volt a részletező geomágneses kutatásban. A továbbiakban, e tanulmányban a kimberlit-, a gyémánt- és a nyersanyagkutatás mellett leginkább a saját emlékeim jelennek meg, néhány újonnan végzett modellezési eredménnyel.

Kiss, J.: Diamond deposits in Yakutia

Recently, I came across a report on the website “Természetismeret” (Nature Studies) that brought back old memories. The article presented the “Mir” (Peace) kimberlite mine located in the Yakutian settlement of “Mírnyj” (i.e., Peaceful). During my diploma internship, I visited Yakutia, Mírnyj, the Mír kimberlite mine, and even a few other kimberlite pipe open pits... In 1986, I wrote my theses on geomagnetic research of kimberlite pipes. Kimberlite is the primary source rock for natural diamonds, which means that this rock was the main target of diamond exploration in the remote Yakutia region, on the border between the tundra and the taiga, in the realm of permafrost. It is an important mineral resource in an area rarely visited or inhabited by humans, i.e., in the “gentle embrace of wild nature”. (The measurement area was approached by Tu-154 and AN-2 aircraft, then by Mi-8 helicopters and all-terrain tracked vehicles – just to give you an idea of the scale and possibilities.)

It's the 1980s, there's no GPS, no smartphones, no internet, and no digital cameras. Google Earth didn't exist, personal computers were just starting to develop, and the first small, handheld programmable pocket calculators were appearing on the market. At this time – due to the restricted nature (confidentiality) of the area – photography was prohibited in the vicinity of the kimberlite mine (which is why I did not have my own photo of the pipe), and virtually all available geological, geophysical, and geographical maps were classified or redacted (for example, they did not show coordinates, only a few “crosshairs”). The names of the kimberlite pipes could only be referred to by their initial letters. It was interesting also that, apart from Soviet students, only students from fraternal socialist countries were allowed to go to this area for practical training; the area was closed to everyone else.

Another interesting fact – from a professional point of view – is that the research area coincided with the distribution area of Siberian Trapp basalts. Since both kimberlite and basalt are magnetic, it was natural that the cheapest geophysical method, the magnetic method, played an important role in diamond exploration. This was based on their different magnetization, different geometry, and different depth locations. These parameters played an important role in detailed geomagnetic exploration. Beyond kimberlite, diamonds, and raw material research, this study will mainly focus on my own memories, with some newly completed modelling results.

Béérkezett: 2025. november 18.; *elfogadva:* 2026. március 2.

Néhány kép és részlet az internetes cikkből

„Sibériában, egészen pontosan Jakutföldön, Oroszország távoli részén, hátborzongató lyuk tátong: a Mírnij nevű település⁵⁾ mellett egy kimberlitbánya. Az 525 méter mély és 1,2 km széles gödör a világ negyedik legnagyobb bányáját rejt, és egyben a világ egyik legnagyobb üregét, amelyet valaha ember készített. Nem véletlenül nevezik a gödröt a Földünk legmélyebb sebének.”



1. ábra | Légi felvétel a külfejtésről, a bányagödörről
Figure 1 | Aerial photograph of the open pit mine



2. ábra | Űrfelvétel a bányagödörről és a környező településről
Figure 2 | Aerial photograph of the mine pit and the surrounding settlement



3. ábra | A kibányászott Mír kimberlitkürtő a Google Earth felületén is azonosítható (balra Mírnij település benne a Mír kimberlitkürtő, jobbra az Irelakh folyó⁶⁾ menti torlatkitermelés nyomai az Almaznij (magyarul Gyémántos) nevű településsel)
Figure 3 | The mined Mir kimberlite pipe can also be identified on Google Earth (on the left is the town of Mirny, inside the Mir kimberlite pipe, and on the right are traces of tailings mining along the Irelakh River, with the town of Almazny, meaning “Diamond”)

A kimberlit egy vulkáni kőzet, a peridotit ritka változata. Leggyakrabban a gyémánt-előfordulások fő kőzetmátrixa. Nevét a dél-afrikai Kimberley városáról kapta, amely a jól ismert „Big Hole” kimberlitkürtő otthona. A dél-afrikai Pretoria közelében lévő Cullinan gyémántbánya egy másik példája a nemzetközileg elismert kimberlitkürtőknek.

Számos kimberlit répaalakú, függőleges benyomulásként helyezkedik el, magyarul kürtő, angolul „pipe”, oroszul „трубка” (trubka) néven. Ez a klasszikus répaforma a kimberlitmagma összetett felemelkedési folyamata miatt alakul ki, amely a rendszerben jelenlévő nagy mennyiségű CO₂-nek (alacsonyabb mennyiségű H₂O-nak) köszönhető, amely a felszínhez közeledve egy bizonyos lehülési szint és függőleges kőzetnyomás-csökkenés után, a forráspont elérésekor robbanásszerű kitörést eredményez.

A felszín 1,5–2 km-es körzetében a nagy nyomású magma felfelé robban, és kúpos-hengeres diatrémává tágulva a felszínre tör. A felszíni morfológia a kürtők idős kora miatt ritkán őrződik meg, de általában egy maar vulkánhoz hasonlít. A kimberlit feláramlási csatornák vékonyak lehetnek (1–4 méter), míg felszínközelségben a kürtők átmérője 75 métertől 1,5 kilométerig terjedhet.

A bánya formája nem véletlen, hiszen a gyémántok elsődleges anyakőzete a kimberlit, amely kürtő, azaz tölcsér-



4. ábra | Mírnij település és a „Mír” kimberlitbánya (Nyugat felől)
Figure 4 | The settlement of Mírnij and the Mir kimberlite mine (from the west)



5. ábra | Mírnij település és a „Mír” kimberlitbánya (Északnyugat felől)
Figure 5 | The settlement of Mírnij and the Mir kimberlite mine (from the northwest)



6. ábra | A gödör közelebről (ijesztő mélységgel), 8–10 emeletes házakkal
Figure 6 | A closer look at the pit (at a frightening depth), with 8–10-story buildings



7. ábra | A bányagödör és az emberi település vékony rétege a felszínen
Figure 7 | The mine pit and the thin layer of human settlement on the surface

szerű formában jelenik meg a földkéregben (1.– 7. ábra). A kőzet leművelésekor egy lefelé fokozatosan csökkenő átmérőjű bányagödör alakul ki. A levegőből, repülőgépről vagy helikopterből nézve a gödör – az ívelt panoráma mellett – olyan látványt nyújt, mintha egy meglékelt dinnyét látnánk.

„Mírnij városának kb. 30 000 lakója az északi sarkkör közelsége és a kietlen, távoli fekvés ellenére viszonylagos jólétet élveztek a bánya miatt. Ezen a helyen nyáron a Nap 20 órán keresztül van fenn az égbolton, ennek ellenére az átlaghőmérséklet $-20 \div -30$ C°. A várost 1955-ben alapították, miután egy expedíció nagy mennyiségű torlatgyémánt-

tot (Ileryakh folyó) és annak elsődleges anyakőzetét, a kimberlit nevű kőzetet, pontosabban a „Mír”-nek elnevezett kimberlitkürtöt megtalálták. A kimberlit egy alkáli magmás kőzet, a Föld elsődleges gyémántlelőhelyei szinte kizárólag ehhez a kőzettípushoz kapcsolódnak.

A település szinte összes épülete acéloszlopon nyugszik, vagy mélyebben helyezkedik el, ott, ahol a permafroszt-réteg⁷⁾ már nem tud felolvadni. Ma már nemcsak a bánya van használaton kívül, de a légtere is le van zárva a légi közlekedés elől, a balesetek elkerülése céljából. A kimberlit-bányát 2011-ben végleg bezárták.”

Kutatási előzmények

1941-ben nyár elején az Irkutszki Egyetem diákjai⁸⁾ a felderítetlen Jakutia (a Közép-szibériai-fennsík,⁹⁾ 8. ábra) területének megkutatását tervezték. A világháború közbeszólt, de 1946 tavaszán a Tunguzka-expedíció elkezdte a kutatásokat, elsősorban a folyók mentén, ahol a torlatokat vizsgálták arany és drágakövek, például gyémánt után kutatva. Körülbelül 1 évre rá, megtalálták az első igen apró gyémántkristályokat. A kutatásokat 1949-ben a Viljuz folyó irányába kiterjesztették. Ennek az expedíciónak a neve Amaka-expedíció¹⁰⁾ lett. Ez az expedíció, a Viljuz középső folyása mentén, a nyár folyamán 25 gyémántkristályt talált. Ez egyértelmű jele volt annak, hogy valahol a közelben az anyakőzet, a kimberlit is jelen van. Ezzel kezdődött a Jakutföld gyémántlelőhelyek kutatásának története.

1950-re az Amaka Geológiai Expedíció kutatói tovább kutatva a Közép-szibériai-fennsík területén, több helyen is gyémántot, valamint piropot¹¹⁾ (élénkpiros színű gránatkristályokat) találtak, például a „Marha” – a Viljuz folyó bal oldali mellékfolyója és később 1951-ben a „Morkoka” – a Marha folyó jobb oldali mellékfolyója torlatásványai között.

1951 nyarán, az egyetem elvégzése után Nyikolaj Bobkov¹²⁾ az Amaka-Expedícióban kezdett dolgozni. Akkorra már több ezer torlatból származó kisebb-nagyobb gyémántkristályt találtak, de nem sikerült megfejtetni, hogy honnan kerülhetett be a gyémánt a folyók torlataiba. A gyémántok aprólékos morfológiai elemzése alapján megállapította, hogy a gyémántok bölcsője – a legnagyobb méret és legkevésbé koptatott gyémántok alapján – a Malo-Botuobija (a Viljuz bal oldali mellékfolyója) medrében vagy annak környékén keresendő.

1952-től kezdődött a terület földtani felmérése, megkutatása, több szovjet földtani kutatóintézet által, a gyémántok eredetének és forráskőzetének meghatározására. 1954-ben találták meg az első, „Z” nevű¹³⁾ kimberlitkürtöt, s ennek hatására indult meg a kimberlitkürtök szisztematikus földtani és geofizikai kutatása a Malo-Botuobija és a Daldin-Alakit¹⁴⁾ elnevezésű kutatási területen (8. ábra).

A kutatások eredményeképpen 1955 folyamán további 7 kimberlitkürtöt azonosítottak, amelyek közül az egyik a „Mír” elnevezésű kimberlitkürtő volt (1. ábra), amelyre az Ileryakh folyó gazdag torlatgyémántjai hívták fel a figyelmet (3. ábra). 1961 és 1963 között további 2 kürtőt



8. ábra | A Közép-szibériai-fennsík – a szakmai gyakorlat két kutatási területe (1 – Malo-Botuobija, 2 – Daldin-Alakit)
Figure 8 | Central Siberian Plateau – two research areas for professional practice (1 – Malo-Botuobija, 2 – Daldin-Alakit)

sikerült azonosítani a meglehetősen kiterjedt, ~8 millió km²-nyi kutatási területen (8. ábra).

Azóta rengeteg kisebb-nagyobb kürtőt azonosítottak, de a kimberlitkürtők gyémánttartalma erősen ingadozó. Időnként a kisebb geometriájú test tartalmazott nagyobb arányban gyémántkristályokat, amit alapvetően a keletkezési körülmények határoztak meg. Ebből adódik, hogy egy hatalmas területet kellett költséghatékonyan, nagyon részletesen megkutatni. A kimberlitkürtők műrevalóságát elsősorban nem a mérete, hanem a gyémánttartalma határozza meg.

A kutatásba a teljes módszerarzenált bevetették, klaszszikus földtani térképezés, távérzékelési módszerek, terepi és légi geofizikai (gravitációs, mágneses és elektromágneses) mérések, szeizmikus mérések és geokémiai kutatások.

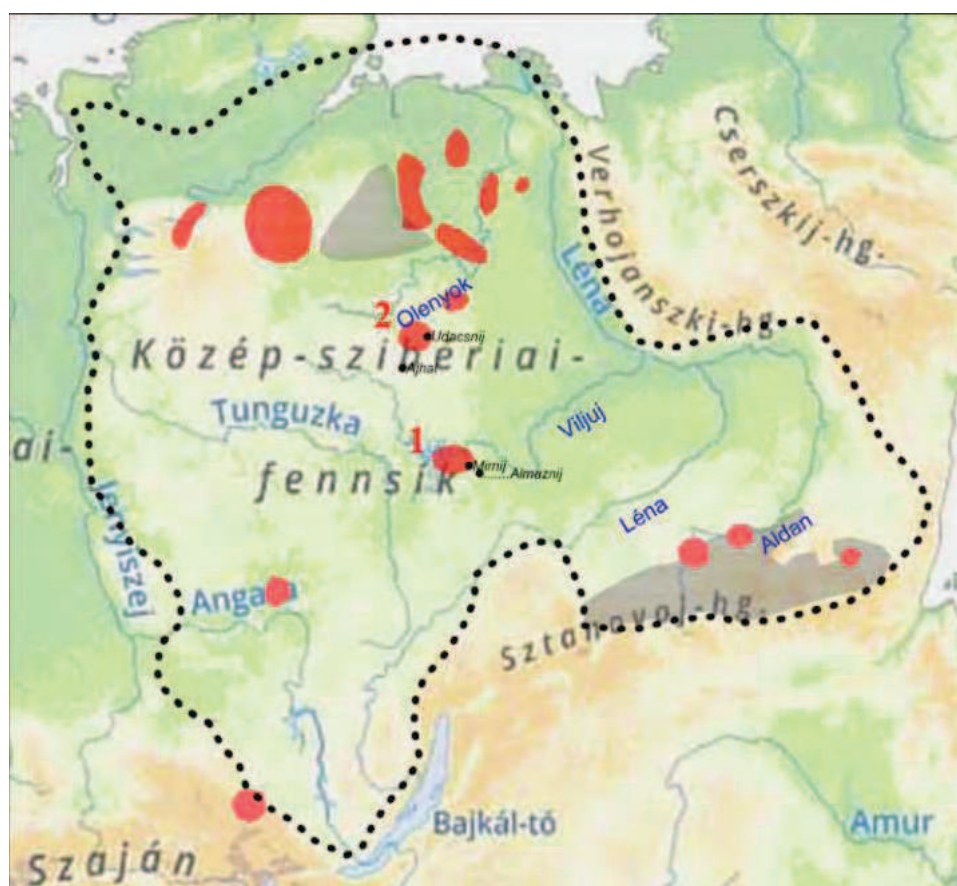
A szakmai terepgyakorlat során ebbe a kutatásba¹⁵⁾ kapcsolódtunk be geofizikai oldalról, részletező terepi mágneses háromkomponenses (vektoros) és több magasságon elvégzett gradiens mérésekkel a Malo-Botuobija és a Daldin-Alakit elnevezésű részterületeken (Kiss 1986).

A terepi csoport 5–7 fős volt, kidobtak minket valamilyen szállítóeszközön („mindenjáró” lánctalpas terepjárón, GAZ tehergépkocsin, Mi–8 helikopteren), a szállás

sátrakban, étkezés önellátóan, többnyire a csoport hölgytagjai második műszakként, váltásban főztek ránk. Fürdőszoba a patak partja vagy egy kisebb tavacska, s mivel közel voltunk a sarkkörhöz, bádoglemezes kályhafűtés és a fiúknak kikapcsolódásként a napi robot után, állandó favágás volt a feladatuk. (Ajánlanám mindenkinek fogyókúra helyett – egyetlen probléma, hogy kicsit nehéz eljutni a területre!)

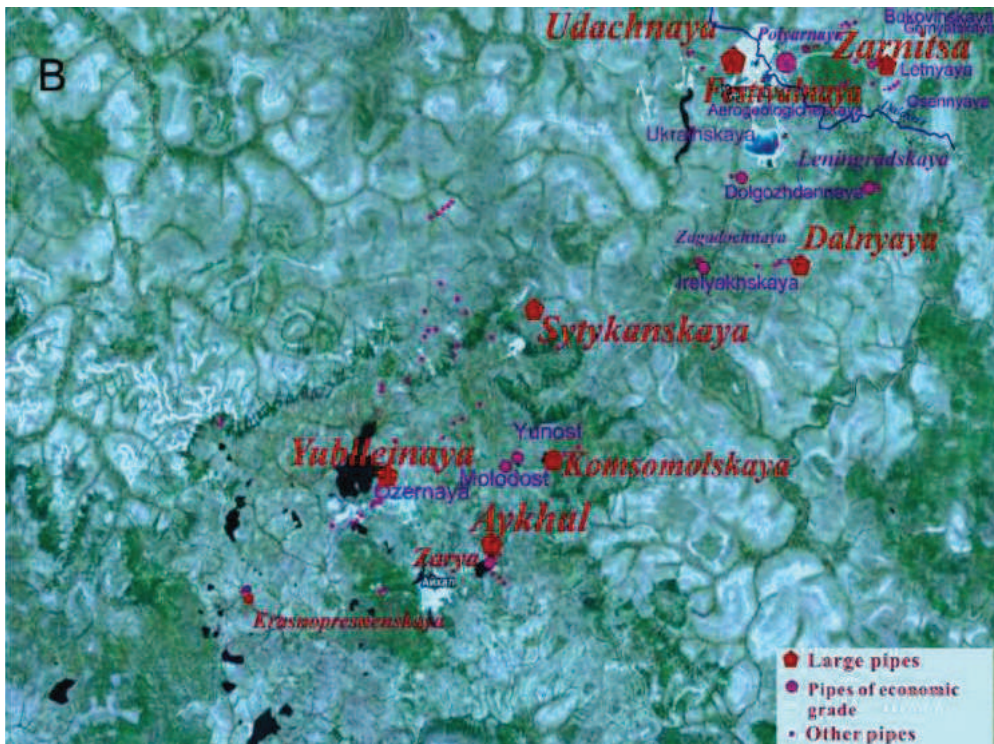
Több kisebb részterületen végeztünk módszertani (szelvény menti és területi) méréseket, amihez az irkutszki Kelet-Szibériai Tudományos Kutató Intézetben kifejlesztett, házi készítésű, háromkomponenses fluxgate-típusú magnetométert¹⁶⁾ használtunk. A terület nagy része ekkorra már felderítő, előkutatói és részletező légi és földi mágneses felméréseken is átesett,¹⁷⁾ így a kürtőgyanús, potenciálisan szóba jöhető néhány érdekesebb részterület volt a vizsgálódás tárgya.

A terepen mágneses háromkomponenses gradiens méréseket végeztünk, diákként elsajátítva a mérés szabályait, technológiáját (mágnestelenített észlelő- és mérőműszer, műszertájéolás és szintezés, valamint szelvények kitézése és műszerbeállítások), a mágneses tér fix kontrolponton történő mérését (napi variációk rögzítése), megismerve az adatok előfeldolgozását (mágneses tér napi járásának



9. ábra | A Közép-szibériai-fennsík a kimberlit-előfordulásokkal (piros poligon), valamint a prekambriumi pajzsok felszíni kibúvásaival (szürke poligonok), 1 – Malo-Botuobija és 2 – Daldin-Alakit mérési területekkel (Dawson 1980)

Figure 9 | The Central Siberian Plateau with kimberlite occurrences (red polygons) and surface outcrops of Precambrian shields (grey polygons), with 1 – Malo-Botuobija and 2 – Daldin-Alakit survey areas (Dawson 1980)



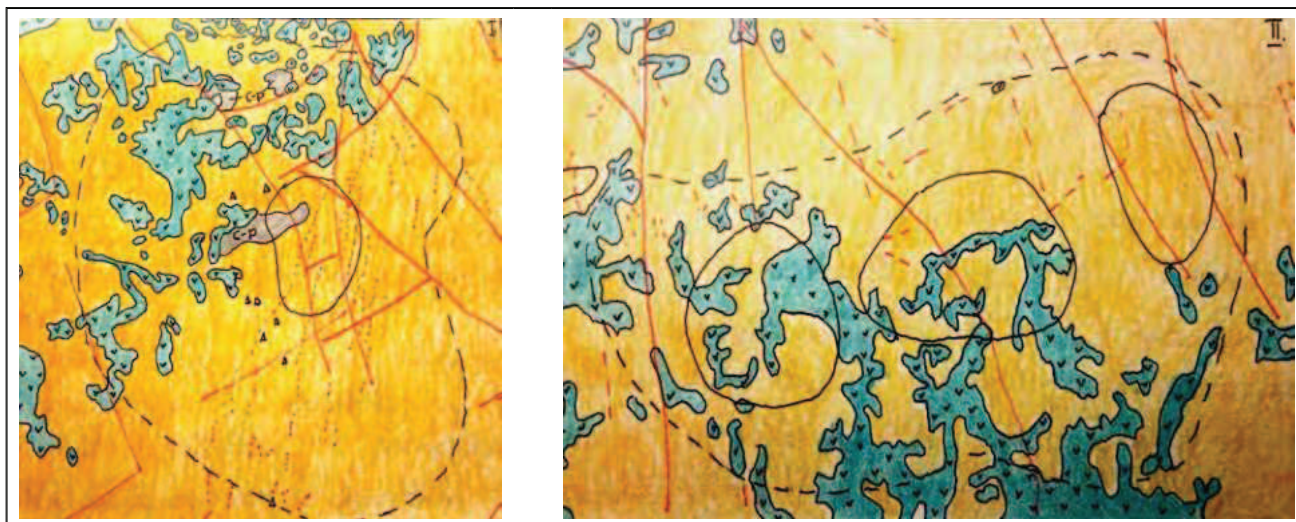
10. ábra A Daldin-Alakit kutatási terület közel 100 kimberlitkürtője piros/lila szimbólummal (Ashchepkov et al. 2016). Az Ajhal és az Udacsznaja kürtők mutatják a két település helyét

Figure 10 The Daldin-Alakit research area with nearly 100 kimberlite pipes marked with red/purple symbols (Ashchepkov et al. 2016). The Ajhal and Udacsznaja pipes indicate the locations of the two settlements



11. ábra A trappbazalt és tufa (tufit) elterjedése a Közép-szibériai-fennsíkon (Czamanske, Fedorenko: www.mantleplumes.org/Siberia.html)

Figure 11 The distribution of Trapp basalt and tuff on the Central Siberian Plateau (Czamanske, Fedorenko: www.mantleplumes.org/Siberia.html)



12. ábra Felszíni földtani vázlat. Trappbazalt képződményekkel való fedettség a Daldin-Alakit (I) és a Malo-Botuobija (II) kutatási területeken (vak-
térkép, Kiss 1986, zöldeskék szín – a bazalt lávaképződmények, lilás árnyalat – szálban álló karbon-perm képződmények, narancssárga szín
– üledékes, vulkáni törmelékes összletek, háromszögek – effuzív tufakürtök)

Figure 12 Surface geological sketch. Coverage with Trapp basalt formations in the Daldin-Alakit (I) and Malo-Botuobija (II) research areas (blank
map, Kiss 1986, greenish-blue colour – basalt lava formations, purple hue – carbon-perm formations in strands, orange colour – sedimentary
– volcanic debris accumulations, triangles – effusive tuff cones)

korrekciója, műszer drift) és a mérés minőségének ellenőrzését. Mindezt még az analóg, XX. századi körülmények között, azaz papíron. A nagy mennyiségű mérési adat feldolgozása és értelmezése nem a rövid, sarkkörközeli nyár másfél hónapos terepi szezonja alatt történt, hanem később, irodai (kamerális) munkaként, a téli időszakban. Terepen csak a mérési adatok és a kontrollponton mért mágneses napi variáció és a műszer driftellenőrzése történt meg.

Nekünk, diákoknak – különösen, ha a szakdolgozat témája lett a terepi gyakorlat – a kutatási háttér adatok, módszertani tapasztalatok összegyűjtése volt a cél, illetve a kőzetfizikai paraméterek feldolgozása, statisztikai elemzése és a kutatási módszertan megismerése esetleg annak javítása, a feltárt összefüggések alapján. Bonyolította a helyzetet az akkor még érvényben lévő titkosítás, azaz a titkosüggyirat-kezelés (a „TÜK”).

Földtani felépítés

Földtani szempontból a Közép-szibériai-fennsík kutatásának elindítása annak volt köszönhető, hogy a regionális földtani felépítés a dél-afrikai gyémántlelőhelyekkel megegyező. A szibériai és az afrikai pajzsok hasonlóak, amit az Aldar (D-en) és Anabar (É-on) prekambriumi képződmények felszíni kibúvási bizonyítanak (9. ábra) és a köztük húzódó Viljui riftzóna.

A területen csak kevés 400–600 m-es talpmélységű fúrás mélyült, ezért a földtani ismeretek eléggé hiányosak voltak. A devonban kialakult kimberlitkürtöket paleozoos (ordovicium, szilur, karbon és perm) sekélytengeri karbonátos és törmelékes üledékes összletek fedik.

A földtani kutatást bonyolítja, hogy a perm-triász határán¹⁸⁾ 2 millió évig tartó bazaltvulkanizmus folyt, aminek terméke a szibériai trappbazalt, diabáz (dájkok és hatalmas rétegszerű testek, kiterjedésüket a 11., 12. ábra szemlélteti). Rengeteg lávakőzet fedi a fennsík nagy részét, de a vulkáni törmelékes összletek (tufa, agglomerátum és piroklasztitok) szinte mindenhol ott vannak, és fedőképződményei a különböző paleozoos üledékes kőzeteknek.

Az első kimberlitkürtöket éppen azokon a helyeken találták meg, ahol az kevésbé volt fedve vulkáni képződményekkel. Adódott viszont a torlatásványok elhelyezkedése alapján, hogy a meg nem talált kürtők jelentős része fedett helyzetben lehet, a majdnem összefüggő bazalttakaró alatt. Ez komoly módszertani kihívást jelentett, amit csak a képződmények fizikai paramétereinek megismerése után lehetett többé-kevésbé megoldani.

A terület földtani felépítését, a különböző földtani formációk kőzetfizikai paramétereit és a geofizikai mérések főbb tapasztalatait különböző publikált információk alapján lehetett összeszedni, de ezekre most részletesen nem térünk ki.

Mágneses paraméterek

A rengeteg mérési adatot most nem ismertetünk, megpróbálunk a mágneses kőzetfizikai paraméterekre koncentrálni, amelyek a kutatásunk alapját képezték.

Az 1985 körül elérhető kőzetfizikai mérési adatok alapján a mágneses szuszceptibilitás értéke alapján közel háromszoros ($\kappa_k/\kappa_b = 3$) eltérés van a kimberlit és a bazalt között. Az ultrabázisos kimberlit értelemszerűen erősebben mágnesezhető, mint a bázisos bazalt.

Figyelembe véve azt is, hogy a trappbazaltok vízszintes kiterjedése nagyobb, mint az összlet vastagsága és a kimberlitkürtőknek a vertikális kiterjedése nagyságrendekkel haladja meg a vízszintes kiterjedés nagyságát, az indukált mágnesezettség alapján a két közettest egymástól elvileg elkülöníthető. A problémát a remanens mágnesezettség jelentheti.

A fiatalabb trappbazaltok jelentős remanens mágnesezettséggel (I_r) rendelkeznek, miközben az idősebb kimberlittek a koruk miatt elvesztették remanens mágnesezettségüket (vagy gyengébb volt?) és azoknál az indukált mágnesezettség (I_i) dominál. Jelentős eltérés van tehát a kétféle mágneses ható mágnesezettségében, amelyet a Königsberger-aránnyal¹⁹⁾ szoktunk jellemezni.

Számszerűsítve:

- a trapp-bazaltokra $Q = 5-21$, miközben
- a kimberliteknél ez $Q = 0,25-0,4$ körüli.

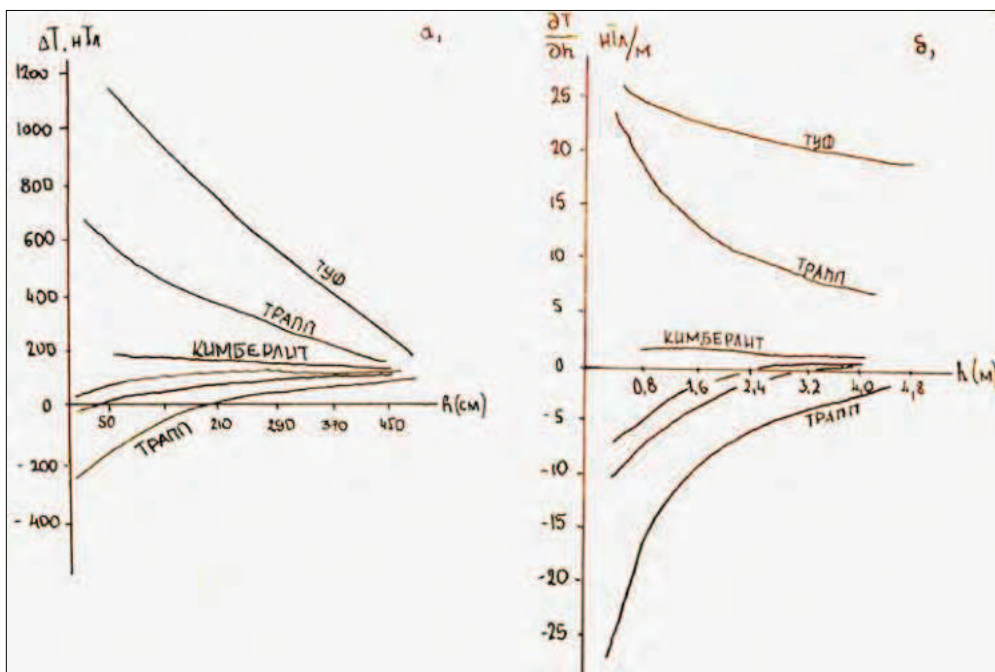
Adódik tehát, hogy a két közet eltérő módon mágnesezett, a kimberlit esetében számolhatunk fix indukált mágnesezettséggel, miközben a trappbazaltok esetén – feltételezve a reverz remanens mágnesezettséget – a nagy Königsberger-arány miatt a mágnesezettsége kaotikus lesz, helyről helyre változhat. A nagy Q érték azonban azt is jelenti, hogy a remanens mágnesezettségből a bazaltoknak az indukáló tér értékével kiszámított virtuális mágneses szuszceptibilitása 5–21-szerese lehet a kimberlit szuszceptibilitásának.

Ezekből az adatokból egyértelműen kirajzolódik, hogy fontos szerepe lehet egyrészt a mágneses mérési adatok feldolgozásakor a mágneses térerővektor irányának, mert a kimberlittek felett a vektor beáll a közel függőleges irányba (függőleges mágneses dipól) – közel vagyunk az északi sarkhoz, a normáltér közel függőleges ($I = \sim 75^\circ$), és a kimberlitkürtő geometriája miatt a vertikális kiterjedése nagyságrendekkel meghaladhatja a vízszintes kiterjedését. A trappbazaltok mágnesezettsége változó lehet és a bazaltok geometriája miatt a vízszintes méret nagyságrendekkel meghaladja a bazaltok vertikális kiterjedését (vízszintes mágneses dipól).

További fontos következmény, hogy a mágneses térerőnek a mérési magasságtól függő változása a kimberlitkürtő nagy mélységi kiterjedése miatt sokkal kisebb, azaz lassabban cseng le, mint a felszínközeli fedőbazalt rétegek esetében, amelyek erősen változó, gyorsan lecsengő anomáliákat okoznak. Természetesen a mélységi helyzet is befolyásolja az anomáliák amplitúdóját és az anomáliák sávszélességét, de a takaró jellegű bazaltképződmények mindig a kimberlitkürtők felett helyezkednek el.

A módszertani következtetés: háromkomponenses gradiens (két vagy több magasságon elvégzett) mérésekre van szükség, amelynek eredményei mindkét jelenséget leírhatják!

A 13. ábra mutatja a mágneses anomáliatér (ΔT) és a mágneses vertikális gradiens ($\Delta T'_z$) változását a különböző földtani képződmények esetén a mérési magasság függ-



13. ábra | A mágneses anomália-tér (ΔT) és a mágneses vertikális gradiens ($\Delta T'_z$) változása a mérési magasság függvényében. A trappbazaltok változatosságát (megíratlan görbékkel) a remanens mágnesezettség okozza. (Nyikulin 1982 alapján, Kiss 1986 – ТУФ = tufa, ТРАПП = trappbazalt, КИМБЕРЛИТ = kimberlit)

Figure 13 | Changes in magnetic anomaly (ΔT) and magnetic vertical gradient ($\Delta T'_z$) as a function of measurement height. The variability of trapp basalts (unmarked curves) is caused by remanent magnetization. (Based on Nyikulin 1982, Kiss 1986 – ТУФ = tuff, ТРАПП = Trapp basalt, КИМБЕРЛИТ = kimberlite)

vényében. Mindkét ábra azt mutatja, hogy a különböző mérési magasságokon (0–4,5 m tartományban) elvégzett mérések a kimberlit esetében szinte érzéketlenek a mérési magasság változására, ami a kimberlitik mágnesezettségének és függőlegesen elnyújtott geometriájának köszönhető.

A (normál és reverz mágnesezettségű) bazalt láva- és tufaképződmények eltérően, de viszonylag gyors anomáliatér-lecsengéssel jellemezhetők, azaz a felszínen nagyon erős mágnesezettség a mérési magasság növelésével nagyon gyorsan gyengül (a megírt „TPAIII” és megíratlan görbék alapján).

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a különböző magasságban elvégzett mérések különbségét képezve, vagy a vertikális gradienst mérve, ahol az eltérés nulla lesz, ott nagy valószínűséggel a kimberlit mágneses hatását detektáljuk és nem a fedő bazaltok vagy tufák erősen változó mágneses anomáliatérét.

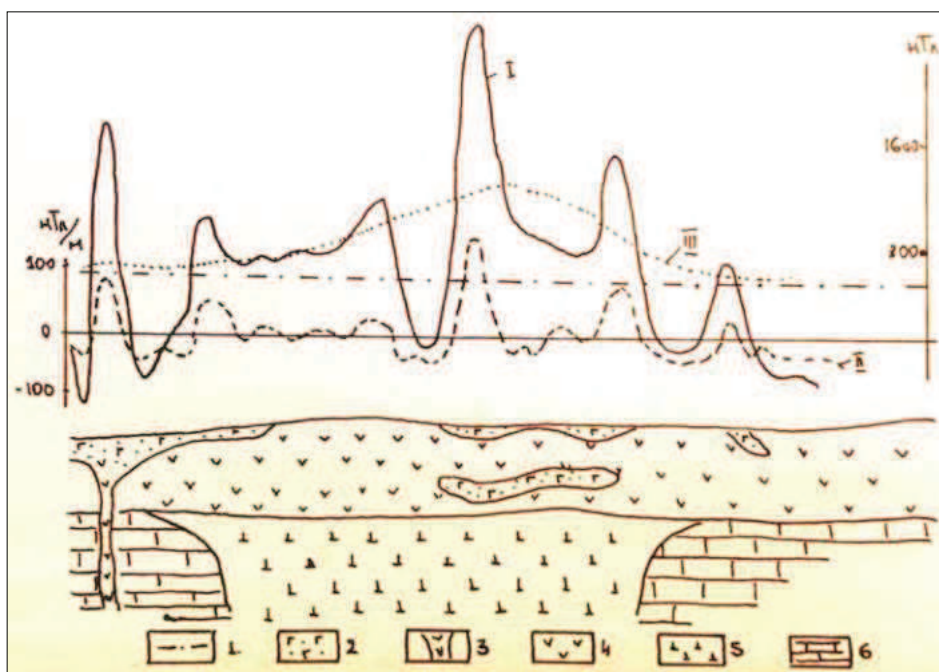
A 14. ábra bemutat egy szelvény mentén végzett mágneses mérési eredményt, rajta a mágneses ΔT anomáliatér görbét (I), a $\Delta T'_z$ gradienstmérés eredményét (II) és azt a görbét (III), amelyet a gradiens nulla értékek helyén a ΔT görbéből kapunk. Ennek a görbének az a sajátossága, hogy egy közel függőleges kiterjedésű hengeres test (kürtő) mágneses hatását tükrözi vissza a sarkkör környéki közel függőleges normáltér paraméterek mellett. Egy mély hatást ír le, kedvező geometriai és mágnesezettségi viszonyok mellett.

A terület titkosítása miatt az adatokat nem kaptuk meg, így utólagos feldolgozással nem tudtunk foglalkozni. Terepi körülmények között a meglévő tárolt energiakapacitásainkat (akkumulátorok és elemek) a mérésre és a rádiós kapcsolattartásra kellett fenntartani, mert nemhogy bolt, de még település sem volt 100 km-es körzetben. Kis programozható zsebszámológépek ekkortájt jelentek meg, de a favágás miatt erre, ott kint a terepen, idő sem lett volna.

Mai ismereteink alapján a feladat spektrálanalízis segítségével elvégezhető lenne, azaz a felszíni erős nagyfrekvenciás jelek és a mélybeli kisfrekvenciás jelek elkülönítése és a különböző mélységű hatások megjelenítése (lásd Kiss 2013) napjainkban már megoldható.

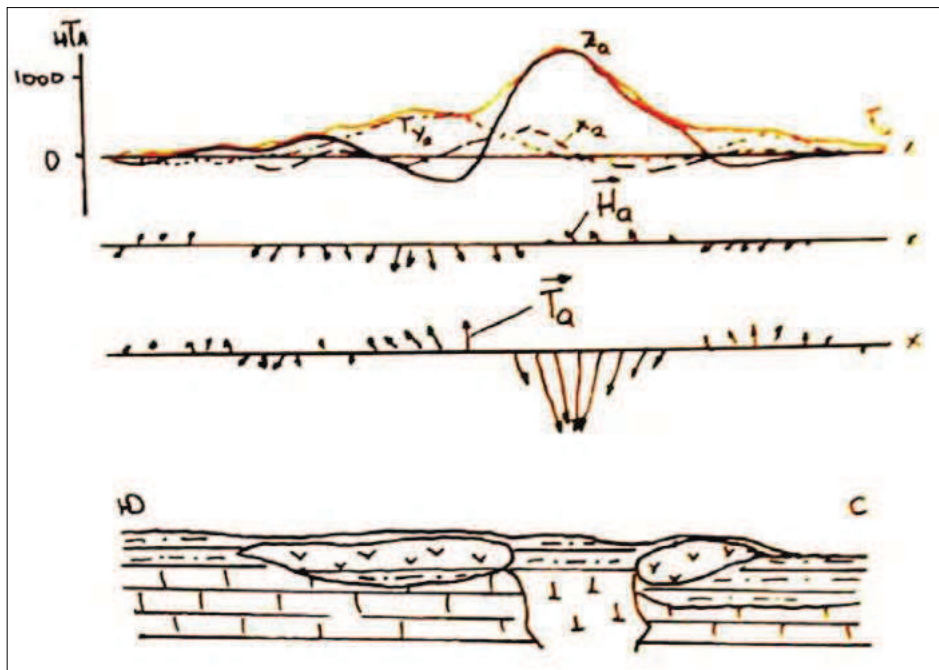
1985-ben a részletező mágneses mérések folyamatban voltak így a kutatási terület nagysága miatt az egységes mágneses anomália térkép még nem készülhetett el – ilyen jellegű digitális spektrális adatfeldolgozásra nem volt lehetőség. A ma ismert mágneses feldolgozási eljárások elméletben már megvoltak, de az algoritmusok a Fourier-transzformációra alapozott frekvenciatartománybeli feldolgozások valamikor ezidőtájt kezdtek kialakulni, elterjedni a geomágneses adatfeldolgozásban.

1985-ben azonban semmilyen szinten nem voltunk képesek a nagy mennyiségű digitális mágneses adatok kezelésére és feldolgozására. A diplomamunkában végzett számítások, a mágneses anomáliatér kiszámítása, kis programozható zsebszámológéppel történtek szelvények mentén, egyszerű geometriájú testekre. (Hát ezek a lehetőségek



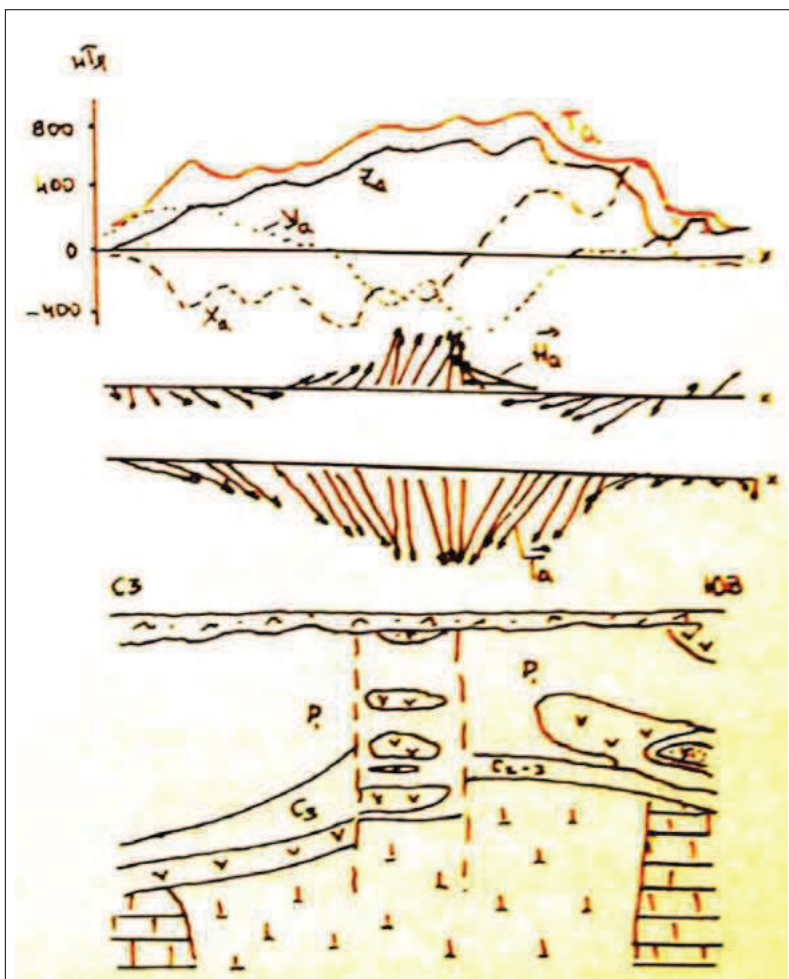
14. ábra Mintaszelvény – a vertikális gradiens mérés használatának bemutatása (Nyikulin 1982 alapján, Kiss 1986). *Jelmagyarázat:* I – ΔT anomáliatér-görbe, II – vertikálisgradiens-görbe, III – mélybeli mágneses hatás anomáliagörbéje, 1 – mágneses alapszint, 2 – tuffás homok, 3 – mikrodolerit, 4 – trappbazalt, dolerit, 5 – kimberlit, 6 – szilurképződmények

Figure 14 Sample section – demonstration of the use of vertical gradient measurement (based on Nyikulin 1982, Kiss 1986). *Legend:* I – ΔT anomaly field curve, II – vertical gradient curve, III – deep magnetic effect anomaly curve, 1 – magnetic baseline, 2 – tuffaceous sand, 3 – microdolerite, 4 – Trapp basalt, dolerite, 5 – kimberlite, 6 – Silurian formations



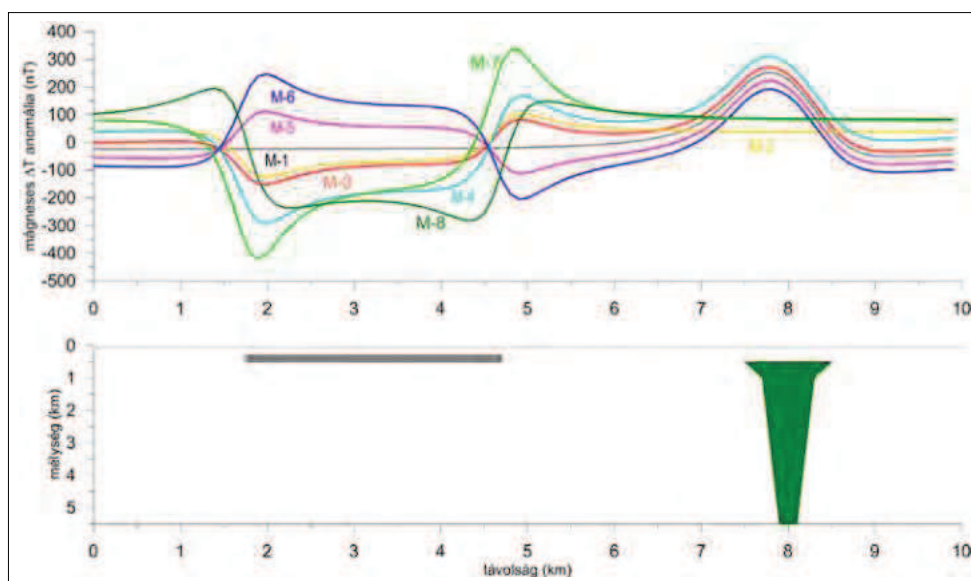
15. ábra | Háromkomponenses mágneses mérés eredménye egy D-É irányú szelvény mentén egy ismert kimberlitkürtő felett (Nyikulin 1982 alapján, Kiss 1986)

Figure 15 | Results of three-component magnetic measurements along a D-E section above a known kimberlite pipe (based on Nyikulin 1982, Kiss 1986)



16. ábra | Háromkomponenses mágneses mérés eredménye egy ÉNy-DK irányú szelvény mentén egy, a mérések alapján feltételezett kimberlitkürtő felett (Nyikulin 1982 alapján, Kiss 1986)

Figure 16 | Results of three-component magnetic measurements along a NW-SE section above a kimberlite pipe inferred from the measurements (based on Nyikulin 1982, Kiss 1986)



17. ábra A takaró trappbazalt (balra) és a kimberlitkürtő (jobbra) anomális mágneses tere. A trappbazaltok remanens mágnesezettsége miatt erősen változó mágneses anomáliák jellemzik, míg a kimberlitek anomális tere stabil, mivel jelentéktelen a remanens mágnesezettsége

Figure 17 The anomalous magnetic field of the Trapp basalt (left) and the kimberlite pipe (right). Due to the remanent magnetization of Trapp basalts, they are characterized by highly variable magnetic anomalies, while the anomalous field of kimberlites is stable because their remanent magnetization is insignificant

1. táblázat Modellezési paraméterek (x szelvényirány észak–dél, a testek y csapásiránya kelet–nyugat)

Table 1 Modelling parameters (x section direction north–south, y strike direction of bodies east–west)

No	Test	IN. szuszceptibilitás	x méret (km)	y méret (km)	mélység (km)	vastagság (km)	IN.deklínáció (fok)	IN.inklínáció (fok)	RM.deklínáció (fok)	RM. szuszceptibilitás
No1	K-1	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-1									
No2	K-2									
	B-2	0,003	3	1	0,3	0,2	0			
No3	K-3	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-3	0,003	3	1	0,3	0,2	73			
No4	K-4	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-4	0,006	3	1	0,3	0,2	73			
No5	K-5	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-5	-0,003	3	1	0,3	0,2	73			
No6	K-6	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-6	-0,006	3	1	0,3	0,2	73			
No7	K-7	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-7	0,003	3	1	0,3	0,2	73	3	45	0,003
No8	K-8	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B-8	0,003	3	1	0,3	0,2	73	3	135	0,003
No9	K-9	0,003	0,2–1	1	0,5	3	73			
	B9	0,003	1–4,7	1	0,1–0,3	0,1–0,3	73			

bizony messze vannak napjaink PC, vagy okostelefon lehetőségeitől!)

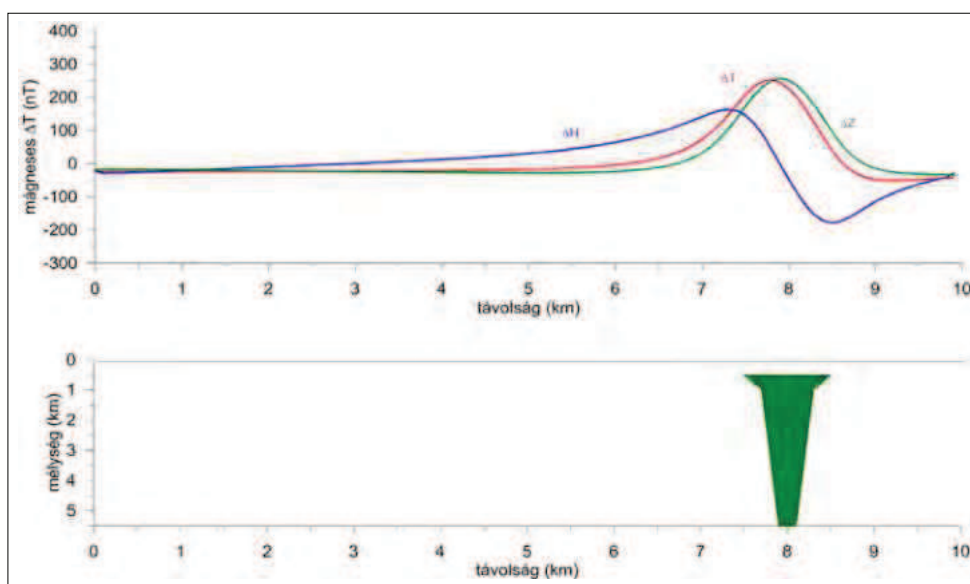
A terepen háromkomponenses méréseket végeztünk, azaz rendelkezésre állt a mért Δx , Δy és Δz komponens, amelynek a feldolgozásából a szelvény irányában (nevezük H_a -nak) és a háromdimenziós térbeli anomális térerővektor (T_a) kiszámítható és megjeleníthető volt (16. ábra).

Látszik, hogy a mágneses térerővektor a közel függőleges geometriájú és közel függőleges mágnesezettségű kimberlittek esetében az ultrabázisos csillámperdotit- (kimberlit-) testek helyét mutatja. A háromkomponenses mágneses mérés szemléltetését modellek szintjén tudom be-

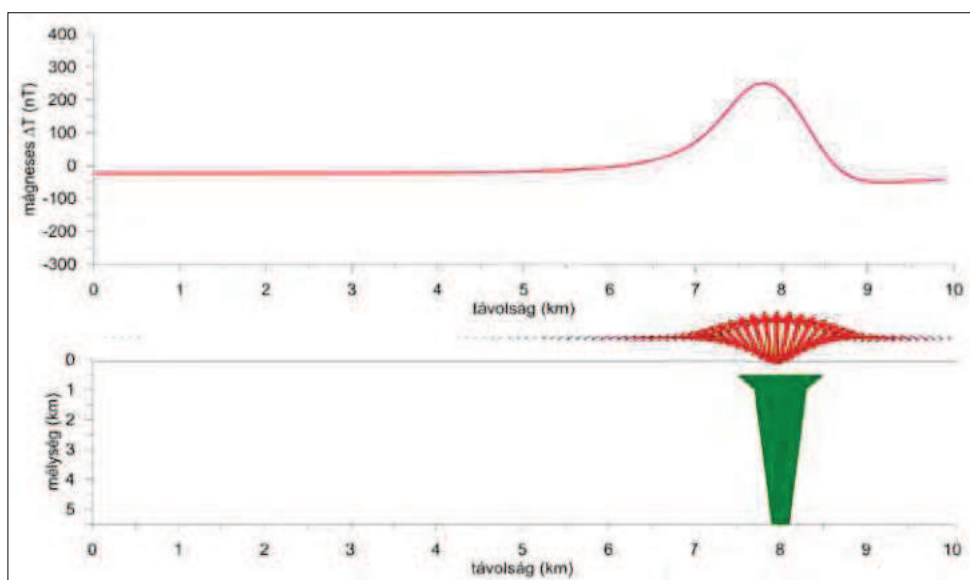
mutatni. A bázisos trappbazalt- és az ultrabázisos kimberlitkőzetekről korábban már ismertetett geometria és mágnesezettségi adatok alapján elvégzett modellszámításokat mutatják a következő ábrák.

A 17. ábra mutatja az árnyékoló, fedő bazalttakaró és a közel függőleges kimberlit test mágneses anomália görbéit. A kimberlit mágnesezettsége indukált, ezzel szemben a bazaltoknak remanens mágnesezettsége is van, s ezen belül a remanens mágnesezettség is lehet normál és reverz, bonyolult anomáliákat okozva.

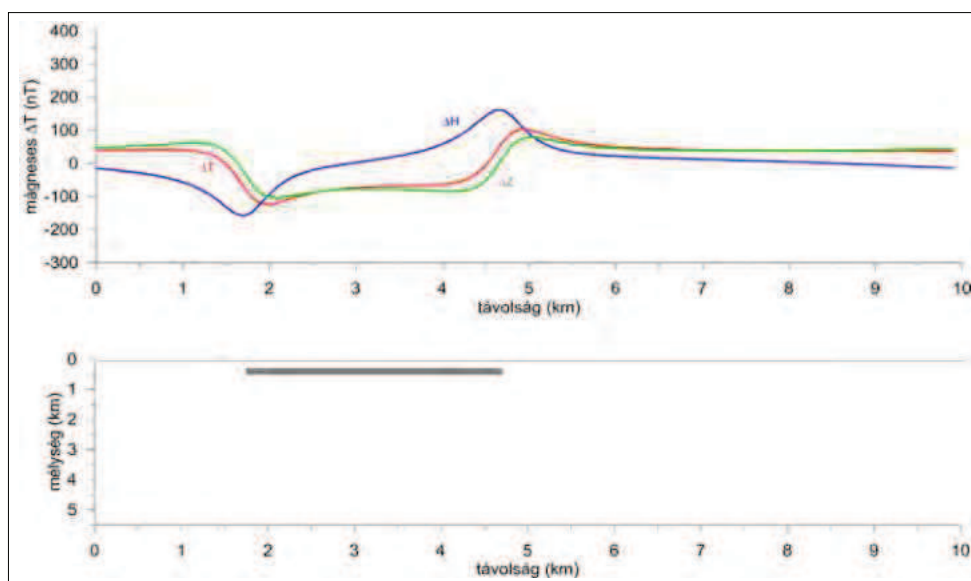
Az 1. táblázat paramétereivel modelleztük a ΔT anomáliateret (17. ábra), majd kiszámoltuk a ΔZ és ΔH komponenseket (ΔH alatt jelen esetben, a szelvény menti ΔX -et



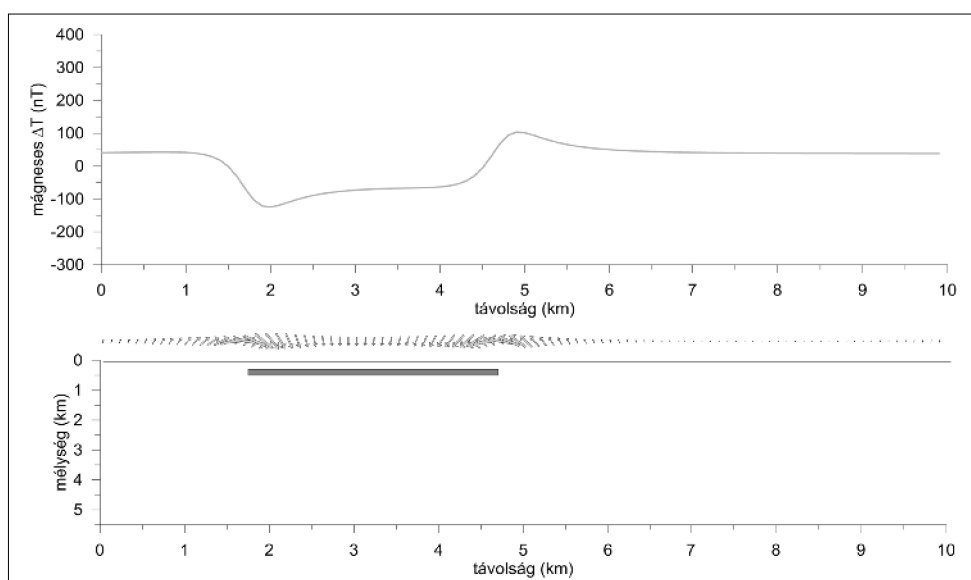
18. ábra | A kimberlitkürtő (No1) modellezése a különböző mágneses komponensek (ΔT , ΔZ , ΔH) meghatározásával
 Figure 18 | Modelling of the kimberlite pipe (No1) by determining the various magnetic components (ΔT , ΔZ , ΔH)



19. ábra | A kimberlitkürtő (No1) mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal
 Figure 19 | Magnetic ΔT curve of the kimberlite pipe (No1) and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components



20. ábra | A trappbazalt (No2) modellezése a különböző mágneses komponensek (ΔT , ΔZ , ΔH) meghatározásával
Figure 20 | Modelling of Trapp basalt (No2) by determining various magnetic components (ΔT , ΔZ , ΔH)



21. ábra | A trappbazalt (No2) modell mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal
Figure 21 | Magnetic ΔT curve of the Trapp basalt (No2) model and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components

kell érteni!). A kimberlittest mágneses komponenseit, azaz a mágneseztérerő-görbéket mutatja a 18. ábra.

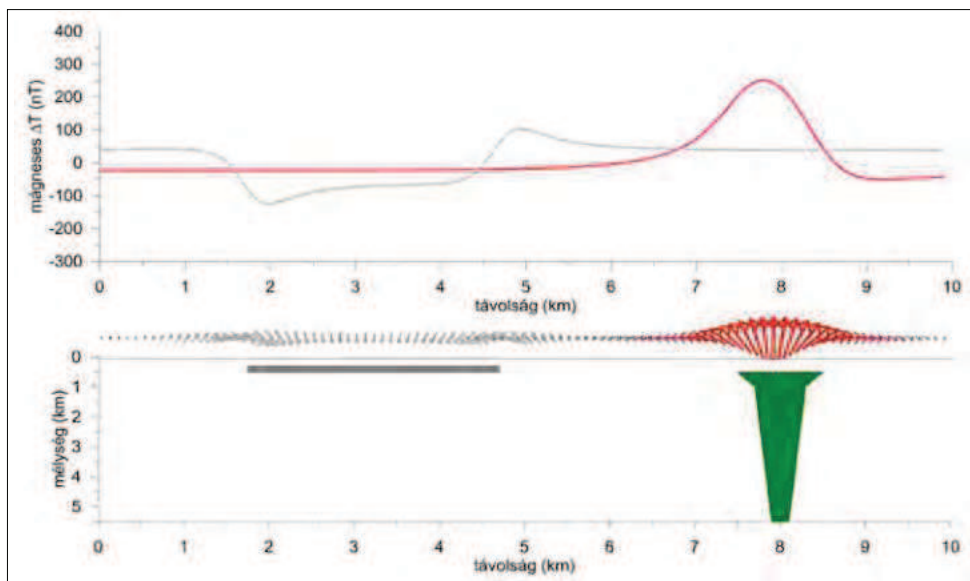
Ha ismerjük a különböző térkomponenseket, akkor a szelvény mentén a mágnesezettségi vektort is meg tudjuk határozni. A 19. ábra mutatja a kimberlit test (No1) modellje felett kialakuló ΔT anomáliát és alatta a mágnesezettségi vektort. (A mágnesezettségi vektor irányát elmentésre változtattuk, hogy az anomáliagörbével összhangban legyen: ahol maximum van, ott felfelé mutat a vektor, ahol minimum van, ott lefelé.)

Ugyanezt a műveletet minden modellre (1. táblázat) elvégeztük, a trappbazalt (No2) modelljének térkomponenseit mutatja a 20. ábra. A 21. ábra pedig a ΔT

anomáliagörbét és alatta mágnesezettségi vektort mutatja.

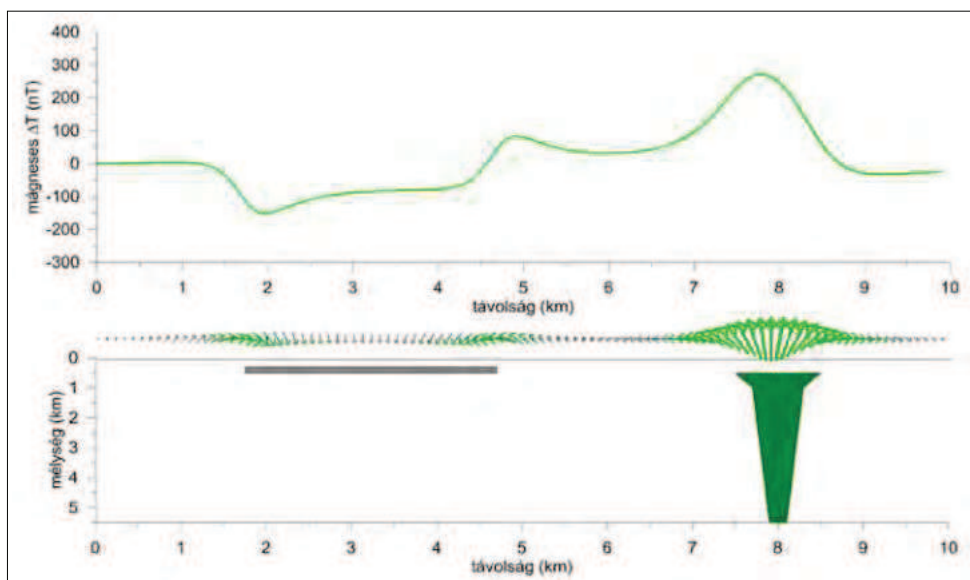
Az erőter a geofizika esetében az ismert szuperpozíció elve, ami azt jelenti, hogy a különböző testek hatása összeadódik, és csak a végeredményt látjuk. Ezt az egyesítést mutatja be a 22. és a 23. ábra, amelyeken a No1 és No2 modellek hatását látjuk. A 22. ábra még különböző színű görbékkel mutatja be a hatásokat, de a 23. ábra már a mérések során kapott eredő mágneses teret és az abból meghatározható mágneseztérerő-vektorokat mutatja.

A No1 és No2 esetében azonos indukáló mágneses térrel számoltunk (1. táblázat) a trappbazalt és a kimberlit esetében is, eltérés csak a testek formájában és kiterjedésében



22. ábra A trappbazalt- (szürke) és a kimberlitkürtő- (piros) modell mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal (külön-külön)

Figure 22 Magnetic ΔT curve of the Trapp basalt (grey) and kimberlite pipe (red) models and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components (separately)



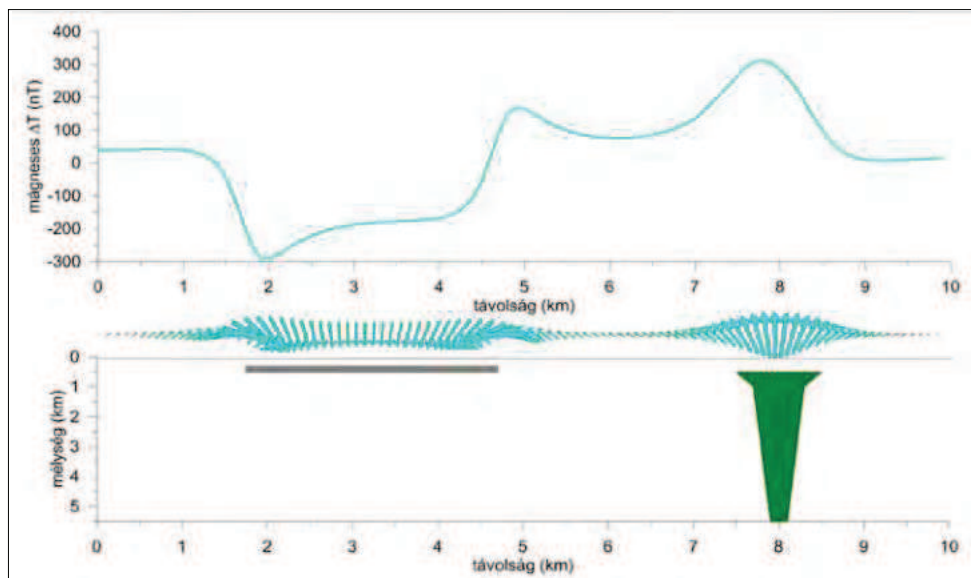
23. ábra A trappbazalt- és a kimberlitkürtő- (No3) modell mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal (összhatás)

Figure 23 Magnetic ΔT curve of the Trapp basalt and kimberlite pipe (No3) model and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components (total effect)

van. Ebből a geometriai eltérésből adódóan azonban a mágneses hatások eltérőek. Ha a kimberlit hatását pozitívnak vesszük (a test feletti vektorok felfelé mutatnak), akkor azt láthatjuk, hogy a bazalttest felett a vektorok lefelé irányulnak! Azaz, ha csak indukált mágnesezettsége lenne a bazaltnak, akkor a jól elkülöníthető lenne a kimberlittestek által okozott anomáliáktól.

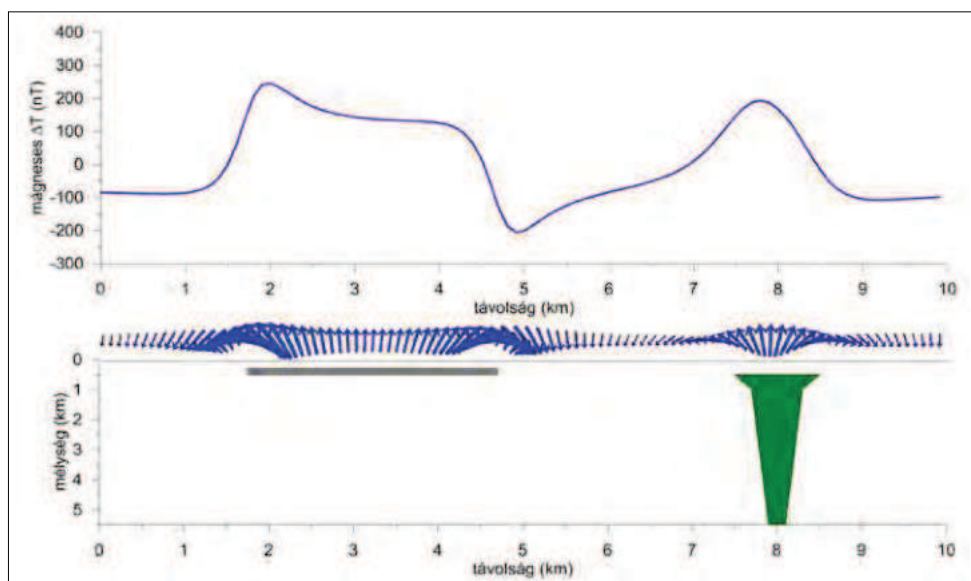
Ha a bazalt remanens mágnesezettsége erősebb, de a normál tér irányának megfelelő, a mágneses hatások össze-

adódnak (modell No4), és akkor kapjuk meg a 24. ábra ΔT anomáliagörbét és mágnesezettségi vektorait. Látható, hogy a kimberlit és a bazalt hatása a görbék alapján kevésbé, de a mágnesezettségi vektor alapján jól elkülöníthető. Ha viszont reverz remanens mágnesezettség jelenik meg, és az sokkal erősebb, mint az indukált mágnesezettség (No5, No6), akkor előállhat olyan eset, amikor sem az anomáliagörbe, sem a mágnesezettségi vektor alapján nem tudjuk elkülöníteni a kimberlit és a bazalt hatását (25. ábra).



24. ábra A trappbazalt- és a kimberlitkürtő- (No4) modell mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal

Figure 24 Magnetic ΔT curve of the Trapp basalt and kimberlite pipe (No. 4) model and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components

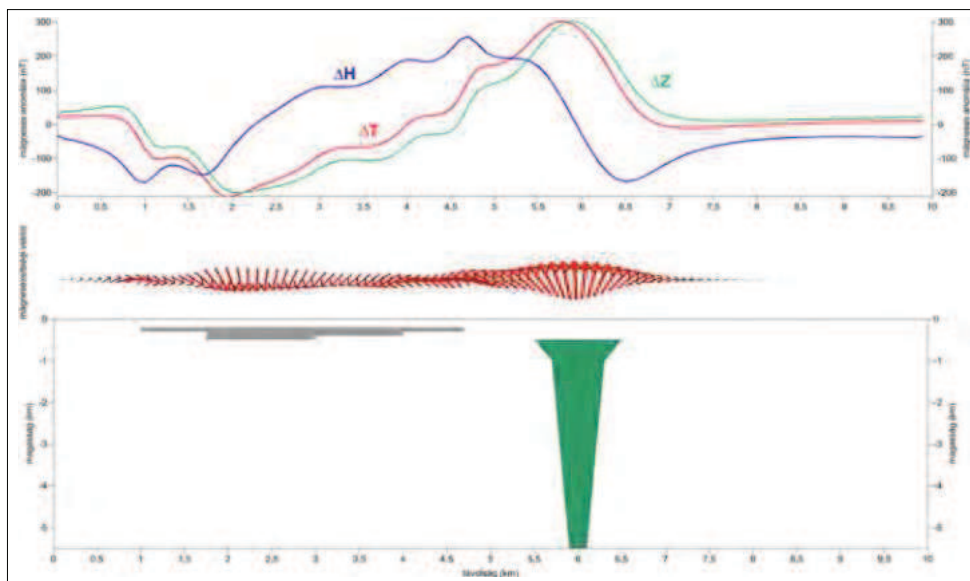


25. ábra A reverz mágnesezettségű trappbazalt- és a kimberlitkürtő- (No6) modell mágneses ΔT görbéje és a ΔH és ΔZ komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorokkal

Figure 25 Magnetic ΔT curve of the reverse magnetized Trapp basalt and kimberlite pipe (No6) model and magnetization vectors determined based on the ΔH and ΔZ components

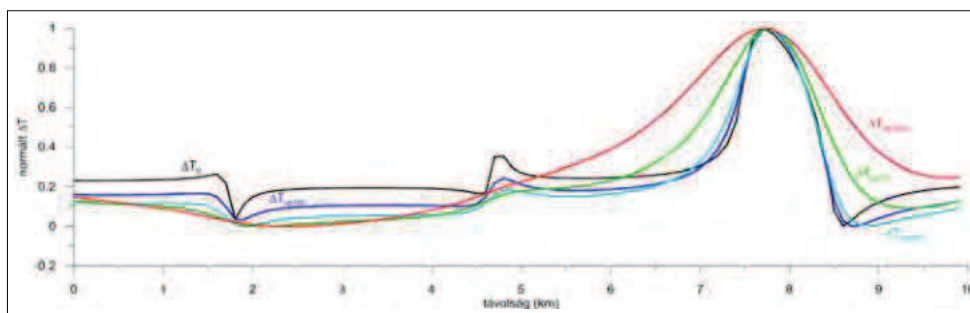
Ilyenkor a mágneses anomália térképi feldolgozása/értelmezése segíthet, mivel a kimberlit függőleges, nem túl nagy kiterjedésű, közel izometrikus formájú test, miközben a bazalt az elnyújtott, nagy kiterjedésű, de szabálytalan forma a jellemző, helyenként bazaltos kitörési kúrtókkal. Az anomália a kiterjedt bazaltok esetében mindig a test peremén fog jelentkezni, míg a kimberlitek esetén a kúrtó felett. A mágneses anomália-térkép tanulmányozása/értelmezése ezeknek a jellegzetességeknek a felismerésével sokat segíthet.

Eddig egy egyszerű geometriájú bazalttesttel foglalkoztunk, de a valóságban a takaróbazaltok formája kellően változatos lehet. Erre is mutatunk be példát (26. ábra), ahol a bazalttest vastagsága lépcsősen változik. Normál mágnesezettség mellett a mágnesezettségi vektor itt is segít, de reverz mágnesezettség esetén, már jelentősen bonyolódik a helyzet. Szükség van tehát még egy eljárásra, amellyel a kétféle magmás képződményt elkülöníthetjük!



26. ábra A változó geometriájú trappbazalt- és a kimberlitkürtő- (No9) modell mágneses ΔT , ΔH és ΔZ görbéje és a komponensek alapján meghatározott mágnesezettségi vektorok

Figure 26 Magnetic ΔT , ΔH , and ΔZ curves for the variable geometry Trapp basalt and kimberlite pipe (No9) models and magnetization vectors determined based on the components



27. ábra A trappbazalt és a kimberlit eltérő geometriájából és mélységéből származó vertikálisgradiens-hatások vizsgálata a modellezett anomáliagörbék alapján [ΔT alapgörbe (fekete), felfelé folytatott görbék 100 (kék), 200 (világos kék), 500 (zöld) és 1000 m-re (piros)]

Figure 27 Examination of vertical gradient effects resulting from the different geometries and depths of Trapp basalt and kimberlite based on modelled anomaly curves [ΔT base curve (black), upward curves 100 (blue), 200 (light blue), 500 (green) and 1000 m (red)]

Egy ilyen lehetőség az elkülönítésre, az anomáliák mélységfüggése alapján történhet, azaz a mágneses gradiens mérésével, a vertikális gradiens meghatározásával. A bazalt takaróként borítja a felszínt, vagy kisebb mélységben van jelen, ezért a nagyfrekvenciás jelek a jellemzőek rá, a magassággal gyorsan lecsengő anomáliatérrel. A kimberlitekre a nagy mélységi kiterjedés miatt a lassabban lecsengő (13. ábra), nagyobb hullámhosszúságú jelek lesznek jellemzők, amelyek esetén a vertikális gradiens is lassabban változik.

Az elemző vizsgálatot a mágneses anomáliatér felfelé folytatásával végezhetjük el. A hatók modellezett terét (mágnesezettség a No3 modell szerint) felfelé folytattuk 100, 200, 500 és 1000 m-re. A modellezéséhez az eredeti modellt közelebb hoztuk a felszínhez (trapp mélysége 50 m, vastagsága 50 m, a kimberlit mélysége 100 m) valamint, hogy az amplitúdó csökkenését kiküszöböljük, „min-max

normalizálást” végeztünk. Az eredményt a 27. ábra mutatja.

Az ábráról az olvasható ki, hogy amikor a felfelé folytatás mértéke eléri a bazaltok alsó peremének megfelelő mélységértéket (100 m), a hatás nagyon erőteljesen gyengül, és 1000 m esetén már ki sem mutatható, miközben a normált görbén a kimberlit mágneses hatása gyakorlatilag alig változik (az anomália szélesedik, mivel egyre nagyobb mélység hatását érzékeljük). A modellezés során viszonylag nagy magasságkülönbség értékeket használtunk, de a terepi gradiensmérések során ez a törvényszerűség kisebb magasságok esetén is jelentkezni fog. Ha ezt sikerül a terepi mérésekkel kimutatnunk és a mágnesezettségi vektor is lokális, közel függőleges mágnesezettséggű testet mutat, akkor a mágneses mérések alapján nagy eséllyel kimberlitet találtunk. Persze a sikeres kutatást csak a mélyfúrás eredménye igazolhatja.

A természet sokszor teremt bonyolultabb helyzeteket, például azért, mert a bazaltoknak is van/volt kiömlési csatornájuk, amelyeket szintén nem ismerünk, és paramétereikben ezek már erős átfedést mutatnak a kimberlitkürtők anomális terével. De ilyen jelenség lehet a szerkezeti zónák mentén fluidumok hatására kialakult hidrotermális ércesedés is, ami hasonló geometriát és paramétereket okozhat.

Nem sikerült teljes mértékben megoldani a kimberlitkürtők kimutatásának feladatát, de módszertani szempontból ez érdekes megközelítése a problémának. Figyelembe veszi a keresett ható geometriáját, mélységi elhelyezkedését, mágnesezettségét a környezethez képest és a mágnesező réteget reagálását ezeknek a paramétereknek a megváltozása esetén.

Összefoglalás

A földtörténet során, a Közép-szibériai-fennsíkon több helyen, nagyobb mélységből ultrabázisos magma nyomult a Föld felszín felé, majd csillámperidotit (kimberlit) képződött belőle. A hirtelen felemelkedés és nagy nyomás miatt a szénvegyületekből gyémánt és kísérő ásványai (pl. pirop nevű gránát) kristályosodtak ki. A kőzet mállása során a gyémántok egy része torlatásványként

felhalmozódott a helyi folyók üledékekben, amit aztán az 50-es években a szovjet geológusok több helyen meg is találtak.

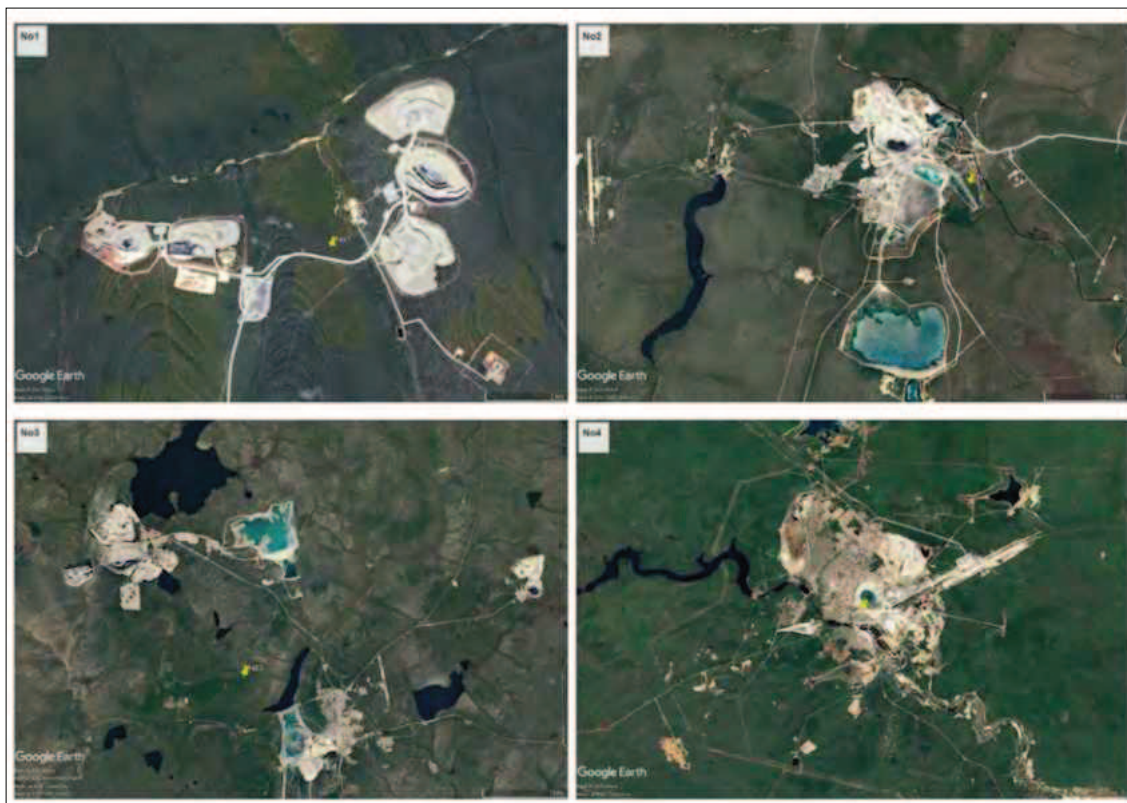
Megindult az ipari léptékű kutatás ezen a távoli – északi tajga és tundra jellegű – területeken, hogy az anyakőzetet, a kimberlitet is megtalálják. Azokon a helyeken, ahol nem fedte vastag bazalttakaró a kimberlitkürtőket, ezeket különböző geológia, geokémiai vagy geofizikai módszerek alkalmazásával a direkt kutatások során meg is találták, de mivel stratégiai fontosságú ipari nyersanyagról volt szó, a kutatások a bazaltok által fedett területekre is kiterjedtek, ami komoly kihívást jelentett a szakmának – még a szovjet szisztematikus, tervszerű kutatások esetében is.

Különböző elméleteket, módszereket és módszertani eljárásokat fejlesztettek ki a hatékonyabb kutatómunka érdekében, amelyekből ebben a tanulmányban csak egy szeletet, a mágnesező módszer alkalmazását mutathattuk be – főleg modellezési eredmények alapján, mivel valós mérési adatokhoz jutni a 80-as évek közepén egy titkos nyersanyagkutatásról nem nagyon lehetett.

A terepen dolgozó szakemberek elhivatottsága, szakmai tudása, leleményessége viszont példamutató volt egy kutatói munkára készülő egyetemi hallgató számára! Külön köszönet jár Vlagyimir Ivanovics Nyikulinnak, a „ВостСиб-НИИГИМС”²⁰⁾ intézet szibériai expedícióvezetőjének a segítségével, szakmai és emberi nagyságáért!

Utóirat

Rengeteg kimberlitkürtőt feltártak, ezek közül néhány a Google Earth felvételeken is azonosíthatunk – íme néhány közülük:





28. ábra Kimberlitkürtők a Google Earth felvételeken: No1 – Ismeretlen nevű; No2 – Udacsnaja, Polarnaja, Zarnyica; No3 – Ajhal No4 – Mír; No5 – Internacionalnaja; No6 – Ismeretlen nevű; No7 – Szütükanszkaja

Figure 28 Kimberlite pipes on Google Earth images: No. 1 – Unknown name; No. 2 – Udachnaya, Polarnaya, Zarnytsa; No. 3 – Ayhal; No. 4 – Mír; No. 5 – Internacionalnaya; No. 6 – Unknown name; No. 7 – Sutukanskaya

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

- ¹⁾ <https://termeszeti.hu/felelmetes-lyukkent-tatong-a-mirnij-gyemantbanya-525-meter-mely-godre-amely-helikoptereket-szippantott-be/>
- ²⁾ Kimberlit (csillámperidotit): ultrabázisos alkáli magmás vulkáni kőzet
- ³⁾ 1981-ben jelent meg az OSBORNE1, az hordozható számítógép az USA-ban.
- ⁴⁾ Trappbazalt: nagy területet lefedő bazalt- vagy dolerit típusú bázisos vulkáni kőzet
- ⁵⁾ Mírnij (Békés) nevet a településen (alatt) található Mír (Béke) nevű kimberlitkürtőről kapta.
- ⁶⁾ Ileryakh folyó: a Malo-Botuobija bal oldali mellékfolyója (Ileryakh – Malo-Botuobija – Viljij)
- ⁷⁾ Permafroszt: a földkéreg örökké fagyott része
- ⁸⁾ Vlagyimír Belov, Szergej Szokolov, Grigorij Fajnsztajn és Mihail Ogyincov
- ⁹⁾ A Jenyiszej és a Léna–Aldan–Amga folyók közötti terület rész
- ¹⁰⁾ Amaka: jelentése medve (evenki nyelven)
- ¹¹⁾ Pirop: a gyémántnak a kísérő ásványa. Az afrikai és a szibériai piropkristályokat összevetették a gyémántkutatás megkezdése előtt, analógiát keresve, találva.

- ¹²⁾ A Szentpétervári Bányászati Egyetem egykori, végzős hallgatója
- ¹³⁾ „Z” azaz Zarnyica (villám)
- ¹⁴⁾ Alakit: az Olenyok mellékfolyója
- ¹⁵⁾ Különböző idővariációkban és némileg eltérő geofizikai eszközökkel (Molnár Imre, Halmos Imre Gyula, Németh Tamás akkori diáktársaimmal)
- ¹⁶⁾ Alapvetően a műholdakhoz gyártott, azonos keretben lévő három egymásra merőleges fluxgate érzékelőből álló (háromtengelyű) szonda, amelyet kisebb hibája miatt az űrkutatásban már nem lehetett felhasználni, de a terepi geofizikai mérésekre kiválóan megfelelt, segítségével a mágneses térerő vektort (a térerő amplitúdóját és irányát) tudtuk mérni.
- ¹⁷⁾ Természetesen párhuzamosan távérzékelési, más geofizikai (gravitációs, geoelektromos és szeizmikus), valamint geokémiai kutatások is folytak, de azokra most nem térünk ki.
- ¹⁸⁾ Az újabb U-Pb cirkonalapú kormeghatározás szerint a bazalt-vulkanizmus és a kimberlitbenyomulás is a devon–karbon határán történt 346–409,5 Ma (Kiselev et al. 2014).
- ¹⁹⁾ Königsberger-arány: $Q = I_r/I_i$ (a remanens és az indukált mágnesessétség aránya)
- ²⁰⁾ ВостСибНИИГИМС – Восточно-Сибирский Научно-Исследовательский Институт Геологии, Геофизики и Минерального Сырья (Kelet-Szibériai Geológiai, Geofizikai és Ásványi Nyersanyagokat Kutató Tudományos Intézet)

Hivatkozások

- Kiss J. (1986): Tanulmány a kimberlitkürtők részletező terepi kutatása céljából a Daldin-Alakit kutatási területen, Jakutföldön. Kézirat, Diplomadolgozat, Szentpétervári Bányászati Egyetem, p. 132.
- Dawson J. B. (1980): Kimberlits and Their Xenoliths. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York – Orosz nyelvű kiadása, Moszkva 1983.
- Ashchepkov I. V., Logvinova A. M., Ntaflos T., Vladykin N. V., Kostrovitsky S. I., Spetsius Z., Mityukhin S. I., Prokopyev S. A., Medvedev N. S., Downes H. (2016): Alakit and Daldyn kimberlite fields, Siberia, Russia: Two types of mantle sub-terrane beneath central Yakutia? *Geoscience Frontiers*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2016.08.004>
- Kiselev A. I., Yarmolyuk V. V., Ivanov A. V., Egorov K. N. (2014): Middle Paleozoic basaltic and kimberlitic magmatism in the northwestern shoulder of the Vilyuj Rift, Siberia. *Russian Geology and Geophysics* 55, 144–152.
- Nyikulín V. I., Demidenko L. A. (1982): Módszertani ajánlás a kimberlitkürtők geomágneses módszerrel történő kutatásához. Kézirat, Kelet-Szibériai Geológiai, Geofizikai és Ásványi Nyersanyagokat Kutató Tudományos Intézet, Irkutsk
- Czamanske G. K., Fedorenko V. A. (é. n.): The demise of the Siberian plume. <https://www.mantleplumes.org/Siberia.html>