

Tündérrózsák és a gravitációs tér?!¹

KISS JÁNOS², SZALMA ELEMÉR³

Magyarország gravitációs lineamens-térképének készítésekor a feldolgozási eredményeinket összevetettük más adatokkal is, pl. geofizikai, geológiai és botanikai adatokkal. A hidrobotanikai és a gravitációs adatok együttes vizsgálata során meglepő korrelációt véltünk felfedezni...

Kutatásaink eredményeként megállapítottuk, hogy a vizes élőhelyeket és azon belül a jellegzetes növényfajok kialakulását egyértelműen a felszíni és mélységi vizek jelenléte, azok keveredési aránya határozza meg. Ugyanakkor a gravitációs erőter jellegzetességei (pl. gravitációs lineamensek) azokat a mélybeli szerkezeteket jelezhetik, amelyeken keresztül a mélybeli vizek a felszínre kerülnek, biztosítva a tündérrózsák életfeltételeit.

J. KISS, E. SZALMA: Water lilies and the gravity field

When the gravity lineament map of Hungary was prepared its results were compared with other, i. e. geophysical, geological and botanical data as well. At joint study of hydrobotanical and geophysical data we were inclined to think, that there was a surprising correlation between them...

Our studies resulted in pointing out that the development of hydrobotanical habitats and their characteristic species are unambiguously determined by the presence of ground- and surface-waters and by the ratio of their mixing. While the attributes of the gravity field (for example gravity lineaments) can indicate hidden geological structures, along which old water belonging to larger depths can ascend to the surface and provide life conditions for water lilies.

Bevezetés

A természet a saját törvényeinek megfelelően működik, ezeket próbáljuk megismerni, megfejteni, függetlenül attól, hogy botanikával vagy geofizikával foglalkozunk.

E tanulmány két egymástól viszonylag távolálló tudományterület adatainak vizsgálatát mutatja be, amelynek eredményei egy harmadik tudományág törvényszerűségeire, illetve jelenségeire mutat rá. Két független adat — a botanikai megfigyelés és a geofizikai felmérés — leírja és igazolja a hidrogeológia fontos, vízáramlással kapcsolatos elméleti elképzeléseit és gyakorlati tapasztalatait.

A gravitációs mérési adatok kiterjedt vizsgálatát egy OTKA pályázatnak (T 043100) köszönhetően kezdtük el Magyarország gravitációs lineamenstérképének megszerkesztése céljából. A vizsgálatokat kiterjesztettük az alap- és a különböző szűrt térképekre is, amelyeket összevetettünk más geológiai, geofizikai — többek közt botanikai — adatrendszerekkel is [KISS 2006].

A gravitációs Bouguer-anomália-térkép és a tündérrózsza dominanciájú élőhelyek (tündérrózsás élőhely alatt a továbbiakban a lápi-sorozat állóvízű élőhelyeit értjük) együttes megjelenítése során merült fel a gyanú, hogy valamilyen kapcsolat van a két dolog között. Vizsgálati eredményeink a „felszín alatti vizek áramlási rendszere” problémakör irányába mutattak. A jelenség, amely összekapcsolja a különböző megfigyeléseket, az a felszín alatti vizek áramlása a fellazult vetőzónák mentén. A vizek feláramlását a növények vízellátottságától való függése alapján felté-

telezhetjük, mivel a vetőzónák áramlási csatornát jelenthetnek a mélybeli vizeknek. A geofizika lehetőséget ad számunkra, hogy a nehézségi tér változása alapján a mélybeli vetőket előre jelezhessük. A tündérrózsás élőhelyek és a geofizika alapján kimutatott zónák egybeesésekor nagy a valószínűsége annak, hogy egy szerkezeti mozgásoknak köszönhetően kialakult, közel függőleges folyadékáramlási csatornát találtunk.

Vizsgálataink eredményeként felállítottunk egy hipotézist, amely összekapcsolja a tündérrózsákat és a gravitációs erőteret — cikkünkben ezt ismertetjük.

Alapfogalmak

Dolgozatunkban három tudományágnak a kutatási eredményeit vizsgáljuk, ezért szükségessé vált egy közös nyelv kialakítása, hogy a dolgokon ugyanazt értsük. A szakzsargonnak — amelyet a cikkben folyamatosan használunk — a kulcsszavait tudományáganként ismertetjük, ezeket a szövegben dőlt betűvel is kiemeltük. Az alapfogalmak ismertetését azért tartottuk fontosnak, mert a Magyar Geofizikában megjelenő cikkek egy szűk szakmai közönségnek készülnek, ezért más szakterületről kevés információ kerül be, kevés az „áthallás” — ez a cikk pedig egyfajta hidat képez a botanika, geofizika és hidrogeológia között.

Botanika

— *hidrobotanika* — a hidrobiológia botanikával foglalkozó rész tudománya;

— *trófia* — a vízi környezetbiológiai rendszer szervesetlen növényi táplálékkal való ellátottságának foka [FELFÖLDY 1984];

— *trofitás* — az elsődleges szervesanyag-termelés (amelynek alapja a fotoszintézis) intenzitása a vizekben, ami a környezetbiológiai rendszer energia befogó képességét

¹ A geofizikai–földtani–környezetvédelmi vándorgyűlés és kiállítás Zalakaroson, 2006. szeptember 22–23-án elhangzott előadás alapján

² Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23, NYME Kitabel Pál Geokörnyezettudományi Doktori Iskola, e-mail: kiss@elgi.hu

³ Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar, Biológia Tanszék, e-mail: szalma@jgytf.u-szeged.hu

- jelenti, és a rendszer potenciális energiatartalmát növeli [FELFÖLDY 1984];
- *trofikus* — táplálkozással, tápellátottsággal, tápanyagokkal összefüggő, azokra vonatkozó jelző [FELFÖLDY 1984];
 - *eutróf, eutrofikus* — (tróf = tápanyag, eu = valódi) bőven termő, azaz nagy trofitású, szervesen növényi tápanyagokkal jól ellátott, szerves anyagot (a fotoszintézis által) bőven termő víz. Ez a tulajdonság a felszíni vagy felszín alatti lokális áramlási rendszerhez tartozó vizekre jellemző — oxidációs környezet;
 - *oligotróf, oligotrofikus* — (oligo = kevés) szűken termő, azaz kis trofitású, szervesen növényi tápanyagban szegény, kevés szerves anyagot termelő víz [FELFÖLDY 1984]. Ez a tulajdonság a regionális áramlási rendszerhez tartozó felszín alatti (mélybeli) vizekre jellemző — redukációs környezet;
 - *disztróf, disztrofikus* — (disz = fosztóképző) időszakosan „tápanyaghiányos”, polihumózus (ld. lejjebb), gyakori bennük a tőzegképződés [FELFÖLDY 1984], a fogalom a trófia alrendszereként tekinthető. Kettős vízellátás esetén alakul ki, pl. a lokális és regionális (mélybeli) áramlási rendszer vizeinek keveredéséből;
 - *mezotróf* — közepes tápanyag ellátottságú;
 - *láp* — olyan természeti képződmény, amelyre jellemző, hogy bizonyos élő rendszerek tőzeget halmoznak fel benne, illetve amelyben a folyamatosan vastagodó tőzegréteg növekedése és fogyása (bomlás vagy erózió révén) hosszú távon egyensúlyt ér el. A láp fogalma tehát a növénytakarót és a belőle képződő tőzeget együtt, összefoglalva jelenti [LÁJER 1998];
 - *mocsár* — fontos a láp és a mocsár fogalmának megkülönböztetése. A hidrobotanikában általában a mocsár megnevezést szűkebb értelemben használjuk, nevezetesen olyan vizenyős élőhelyek megnevezésére, amelyekben nem folyik tőzegképződés, vagy a keletkezett tőzeg rendszeresen el is bomlik [LÁJER 1998];
 - *polihumózus* — sok humusz anyagot tartalmazó, barna színű vizek;
 - *szukcesszió* — a növénytakarások időbeli egymás után következése;
 - *eusztatikus* vízforgalmú termőhelyek — adott típusú történések és változások állandósága, rendszeres ismétlődése a jellemző;
 - *szemisztatikus* vízforgalmú termőhelyek — vagy egész létük alatt vízzel borítottak, ill. átitatottak, vagy évelő típusúak, tehát csak több évenként száradnak ki. Vízforgalmukra a nyugalmi (egyensúlyi) állapot hiánya, a viszonylag tág határok között mozgó, időben általában rendszertelenül bekövetkező változások a jellemzők;
 - *asztatikus* vízforgalmú termőhelyek — szélsőségesen és szabálytalanul ingadozó alkalmanként, de évenként legalább egyszer kiszáradnak, lehetnek azonban egész létük alatt vízzel borítottak, ill. átitatottak is.

Geofizika

- *gravitációs módszer* — a kőzetek eltérő sűrűsége alapján, a nehézségi erőter mérésével következtet a földtani felépítésre;
- *Bouguer-anomália* — a nehézségi erőter azon változásai, amelyek a földtani képződmények sűrűségével és

- azok változásával vannak összefüggésben (Pierre BOUGUER francia természettudósról lett elnevezve, aki Peruban végezte az első méréseket a Föld átlagsűrűségének meghatározására). A Bouguer-érték mértékegysége a gal — GALILEI tiszteletére, $1 \text{ Gal} = 10^{-2} \text{ m/s}^2$;
- *horizontális gradiens* — a Bouguer-anomália horizontális irányban mért legnagyobb változása egy adott területegységre vonatkoztatva — az X és Y iránygradiensek vektorösszege;
- *hatóperem* — a gravitációs hatónak (testnek) a pereme, amelyet a digitális adatfeldolgozások segítségével ki tudunk mutatni — ez az alapja a lineamens-kijelölésnek;
- *gravitációs lineamens* — a Bouguer-anomália-térképnek olyan egyenes, vagy enyhén görbülő, hosszan nyomon követhető jellegzetessége, ami vonallá, vonalakká áll össze. A vonalak a sűrűség laterális irányú hirtelen megváltozásához kapcsolhatók, ami litológiai, sztratigráfiai vagy tektonikai inhomogenitást jelez. Laza üledékes környezetben a szerkezeti vonalak, vetők okozhatják a gravitációs térkép vonalasságát, azaz a gravitációs lineamenseket.

Hidrogeológia

- *vízvezető (aquifer)* — olyan földtani képződmény, ahol a pórusterben a folyadékok jelenléte, áramlása megvalósulhat;
- *vízfogó (aquitard)* — olyan földtani képződmény, ahol a pórusterben a folyadékok áramlása földtani értelemben csak nagyon lassan következik be;
- *víz záró (aquiclude)* — olyan földtani képződmény, amelyben gyakorlatilag nincs folyadékáramlás, kötött víz jelenléte nem kizárt;
- *lokális áramlási rendszer* — olyan egyszerű áramlási rendszer, ahol a beáramlás és a kiáramlás közvetlenül szomszédos (azaz egy lejtőn vannak);
- *köztes (intermedier) áramlási rendszer* — olyan összetett áramlási rendszer, ahol a beáramlás és a kiáramlás között több lokális áramlási rendszer van, de a beáramlás nem a fő vízvásztón, a kiáramlás pedig nem a fő völgytalpon van egy időben;
- *regionális áramlási rendszer* — olyan összetett áramlási rendszer, ahol a be- és kiáramlás a fő vízvásztóra és a fő völgytalpra esik;
- *gravitációs vizek* — a gravitáció által meghajtott, felszín alatti vizek. A lokális és köztes (esetleg regionális) áramlási rendszer vizei, amit a kémiai összetétel jelezhet;
- *mélybeli (mélységi) vizek* — a megnőtt nyomás, hőmérséklet stb. hatására áramló felszín alatti vizek, esetleg idős gravitációs vizek. A köztes és regionális áramlási rendszer vizei, amit a kémiai összetétel mutat;
- *hidraulikai rezsim* — egy adott földtani régióhoz tartozó felszín alatti vizek térben összefüggő tartománya az összes vizekhez kapcsolódó jelenséggel együtt. A felszín alatti vizek fizikai és kémiai tulajdonságával jellemezhető;
- *felszíni vizek* — nyílt víztükrű, felszínen található vizek (tavak, folyók, patakok stb.) és a légkörből származó csapadékvíz, összetételében a lokális áramlással egyező;
- *felszín alatti vizek* — felszín alatti áramlásban részt vevő vizek (lásd lokális, köztes és regionális áramlás);

- *beáramlási zóna (recharge)* — a légköri (felszíni) vizek beszivárgási helye, a domborzat és a földtani felépítés határozza meg;
- *kiáramlási zóna (discharge)* — a felszín alatti vizek megjelenése a felszínen, a domborzat és a földtani felépítés határozza meg;
- *átmeneti zóna (midline)* — a beáramlás és a kiáramlás közötti semleges (átmeneti) zóna;
- *evaporáció* — a szabad felszín párolgása, amely függ a hőmérséklettől, a levegő mozgásától és páratartalmától.

Módszerek, kutatások

A gravitáció és a tündérrózsák közötti kapcsolatot kutató botanikai, geofizikai és (mint ezek eredményeként) hidrogeológiai szempontból kellett vizsgálni. Kutatásainkat következőképpen vázolhatnánk:

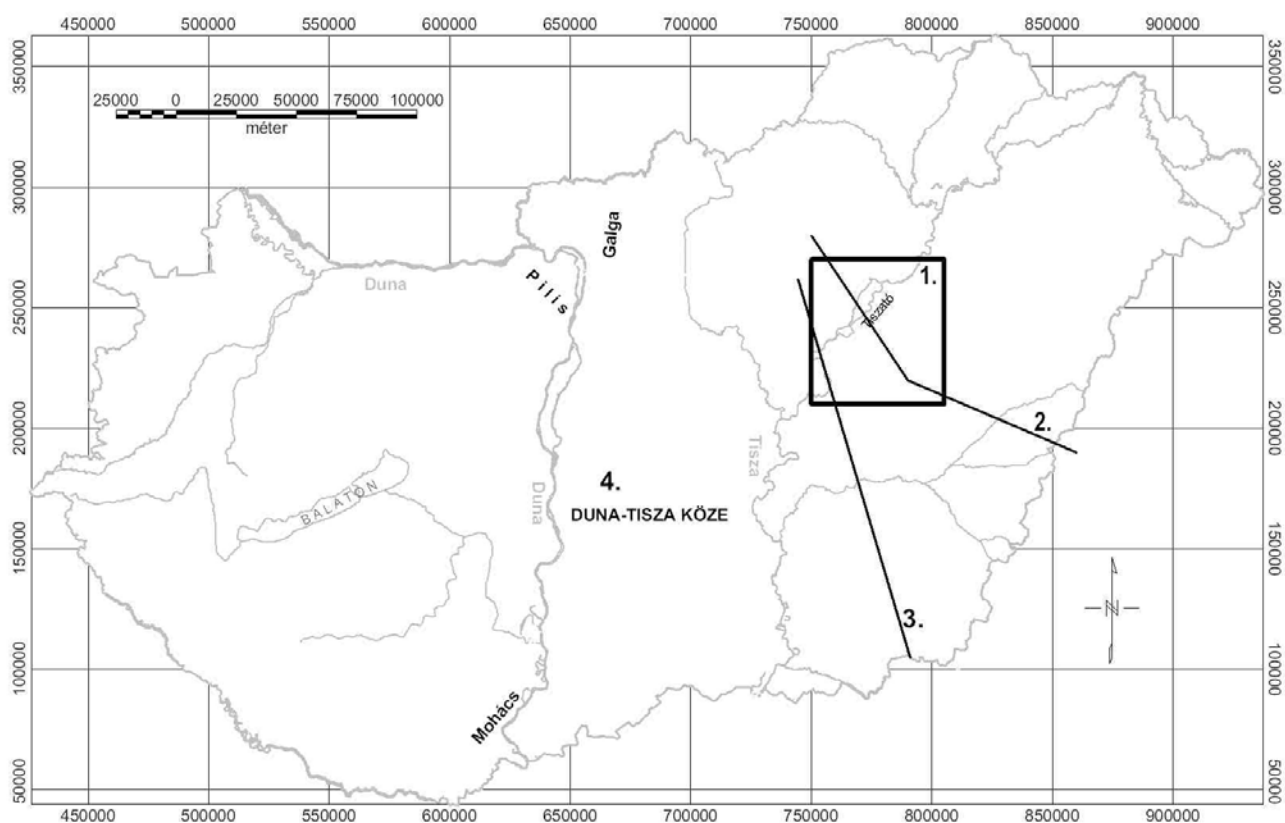
- A hidrobotanika vizsgálati eszközeivel keressük azokat a növényfajokat és társulásokat, amelyek különböző élőhelytípusokra utalnak [SZALMA 2003]. Keressük a

választ arra, hogy ezen élőhelytípusok előfordulását, mintázatát milyen környezeti feltételek határozzák meg;

- Bizonyos élőhelytípusok (szikes és lápi sorozatok növénytársulásai) szoros kapcsolatot jeleztek a felszín alatti vizekkel, azok áramlásával. Ezen növényi élőhelyek besorolásakor folyamatosan hidrogeológiai jelenségekbe, illetve azok hatására kialakult fizikai, kémiai változásokba ütköztünk. Ennek köszönhetően vizsgálataink elengedhetetlen részévé vált a hidrogeológiai okok feltárása;

- Geofizikai feldolgozási eszközök segítségével kerestük azokat a rendellenességeket, amelyek litológiai vagy tektonikai határokat jeleznek [KISS 2006]. Adott esetben a nehézségi erőternek azon változásait, amelyek földtani okokra vezethetők vissza, s amelyek hatással lehetnek a felszín alatti vizek áramlására, illetve a természetes növényzet kialakulására (pl. a tündérrózsák előfordulására).

Kutatásaink eredményét a mintaterületek részletesebb vizsgálatával mutatjuk be. Az egyik ilyen terület a Tisza-tó, a másik a Duna–Tisza köze (1. ábra).



1. ábra. Helyszínrajz a cikkben bemutatott térképekről és szelvényekről. 1. Tisza-tó mintaterület, 2. Folyadékpotenciál szelvény, 3. Regionális földtani szelvény, 4. Duna–Tisza köze mintaterület

Fig. 1. Location map of the study. 1. "Tisza-tó" study area; 2. Section of fluid potential; 3. Regional geological section; 4. "Duna–Tisza köze" study area

Botanika (és hidrogeológia)

A hidrobotanikában vizsgált vízinövények léte a felszíni vizekhez kapcsolódik. A felszíni vizek látszólag egyformák, de kémiai jellegük alapján is jelentős különbségek vannak köztük. A felszíni vizek kétféle vízutánpótlással rendelkeznek: légköri (*felszín feletti*) — pl. csapadék, folyók vize, és a Föld belsejében jelenlévő (*felszín*

alatti) folyadékáramlás. A két vízutánpótlás mértéke alapvetően befolyásolja a vizekben kialakuló természetes növényzetet.

A hidrobotanikában a növényi élőhelyeket a jellemző élet- és növekedési formák, a vízmozgás és a vízutánpótlás, valamint a tápanyagellátás alapján csoportosíthatjuk és sorolhatjuk be [SZALMA 2003].

Az élőhelytípusok megjelenése nem véletlenszerű, hanem hidrogeológiai folyamatok és törvényszerűségek határozzák meg. Vizsgálataink során a vizes élőhelytípusokat — jelen esetben a tündérrózsa dominanciájú élőhelyeket, továbbá az idővel a *szukcessziós* folyamatok előrehaladtával az ezekből kialakuló lápi vegetációsorozatokat (*disztróf*, polihumózus láptavak, láprétek, láperdők) — markereknek tekintjük, amelyek elterjedése a felszíni és felszín alatti vízutánpótlás milyenségétől függ [SZALMA, KISS 2006a].

A tündérrózsa termőhelyeket (a láposodás kezdeti stádiumát) többnyire nagy termetű, gyökérrel rögzült hínárnövények többé-kevésbé összefüggő gyepe jellemzi (1. táblázat). Állóvízű vagy gyenge vízmozgású, *disztróf* (humuszos, polihumózus) jellegű tavakban és holtmedrekben jelennek meg, melyeknek vize az anaerobikus bomlás (tözegképződés) miatt humuszsavakban gazdag, a víz színe sötétbarna. Az élőhely jellegét meghatározóan kettős vízutánpótlás biztosítja, egyrészt az állandó vagy időszakosan a feláramló, másrészt a felszíni, ún. gravitációs vizek. Az időszakosan feláramló vizek *mezotróf* vagy/inkább *oligotróf* felszín alatti vizek, ezért vizük gyakran oxigén-retegzett, a fenéken gyakori az oxigénhiány [SZALMA 2003]. Bizonyos esetekben növényzete átmenetet alkothat szikes vagy szikesedő élőhelyek növényzetével.

Latin név	Magyar név
<i>Nymphaea alba</i>	Fehér tündérrózsa
<i>Nuphar lutea</i>	Sárga vízitök, tavirózsa
<i>Stratiotes aloides</i>	Kolokán
<i>Hottonia palustris</i>	Békaliliom
<i>Utricularia minor</i>	Kis rence
<i>Utricularia bremii</i>	Lápi rence
<i>Aldrovanda vesiculosa</i>	Aldrovanda
<i>Menyanthes trifoliata</i>	Vidrafű
<i>Riccia fluitans</i>	Villás májmoha
<i>Ricciocarpus natans</i>	Úszó májmoha
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	Gyűrűs süllőhínár
<i>Potamogeton filiformis</i>	Fonals békaszőlő
<i>Potamogeton acutifolius</i>	Hegyeslevelű békaszőlő

1. táblázat. Tündérrózsa (lápi) élőhelyek jellegzetes növényfajai

Table 1. Characteristic species of plants in (fen) habitats of water lilies

A tündérrózsa a *disztróf* láptavi élőhelyek egyik jellegzetes képviselője, az időszakosan tápanyaghiányos állóvizek csodálatos növénye, amely kizárólag láptavakban fordul elő. Ennek az élőhelynek a *disztrófitása* annak köszönhető, hogy vízutánpótlása kettős: folyamatos felszín alatti, *mélybeli* vízutánpótlása, és időszakos *gravitációs* vagy *felszíni* vízutánpótlása van. A *mélybeli* vizekre utal az is, hogy a *disztróf* élőhelyekre jellemző növények elviselik a víz természetes oxigénhiányát (*hypoxiát*) és a teljes oxigénhiányt (*anaerobiózist*). A láptavakra jellemző, azokat benépesítő növényfajok olyan élettani mechanizmusokkal rendelkeznek, amelyek a fent említett folyamatokat és az azokból következő, nagy mennyiségben jelenlévő oldható növényi toxinok hatását elviselik. A tündérrózsa esetében egy belső ventilációs rendszer figyelhető meg, mely a leveleken keresztül a rhizómák (a

föld/üledék alatti módosult szár) és a gyökerek légköri oxigénnel való ellátását biztosítja [DECAY, KLUG 1979]. A belső ventilációs rendszer nyomásviszonyainak napszakon belüli változását, a „levegőtető pumpához” szükséges energiát a napsugárzás által meghatározott hőmérsékleti viszonyok szabályozzák, tehát a pumpa nem a fotoszintézis gázcserejére épül (DECAY 1980, 1981; DECAY, KLUG 1982).

Kutatásaink szempontjából nagyon jó mintaterületnek mutatkozott a Tisza-tó (1. ábra), ahol a Tisza fő áramvonala mellett a tározó medencéiben állóvízi növényi élőhelyek is kialakulnak. A Tisza-tónál elvégzett részletes botanikai megfigyelések egy meghatározott sávban jelezték a tündérrózsa hínártársulásokat (2. ábra). A Tisza-tónál készült téli kép magasabb hőmérsékletű víz jelenlétét mutatja. Nem fagy be a víz ott, ahol a *mélybeli* vízáramlások hatása érződik a felszínen. Itt vegetációs időszakban *disztróf lápi* tündérrózsa dominanciájú élőhelyek vannak.

A téma további tárgyalásával kapcsolatban fontosnak tartjuk, hogy a lápi élőhelyek mellett a szikes vegetációsorozat növényei is a kiáramló felszín alatti, *mélybeli* vizekhez kapcsolódnak. A botanikai vizsgálatok során tapasztalható lápos szíkek (átmeneti állapotok) „eltolódások”, a vízvesztési-vízpótlási folyamatokból adódó fluxus- és *evaporáció*-arány folyamatos változását jelentik [SZALMA, KISS 2006a, 2006b].

Hidrobotanikai szempontból a szikes termőhelyeket a kistermetű gyökerező hínárnövények sekély, szikes tavakban vagy tócsákban élő úszó, vagy alámerült fajszegény hínárvegetációja jellemez (2. táblázat). Ritkán eu-, inkább szemi- vagy asztatikus vízforgalmú, felmelegedő vizű, szikes, vagy/inkább (enyhén szikes) szikesedő állóvízű tavak, pocsolyák. Az élőhely vízutánpótlásában szerepet játszanak a felszíni (pl. csapadék) és a feláramló, mezo- vagy oligotróf felszín alatti vizek [SZALMA 2003; Élőhelyismereti útmutató — <http://www.novenyzetiterkep.hu/eiu/>].

Latin név	Magyar név
<i>Ranunculus peltatus</i> ssp. <i>baudotii</i>	Hosszúkocsányú víziboglárka
<i>Ranunculus tripartitus</i>	Sziki víziboglárka
<i>Chara crinita</i>	Csillárkamoszat
<i>Chara foetida</i>	Csillárkamoszat
<i>Chara fragilis</i>	Csillárkamoszat
<i>Ceratophyllum submersum</i>	Sima tócsagaz
<i>Najas marina</i>	Nagy tuskéshínár
<i>Najas minor</i>	Kis tuskéshínár
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Fűzérés süllőhínár
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Fésűs békaszőlő

2. táblázat. Szikes vagy szikesedő tavak jellegzetes vízinnövényfajai

Table 2. Characteristic species of water plants in sodic lakes or in lakes getting sodic

A mélybeli vizek jelenléte a lápi és szikes növényi élőhelyek esetében meghatározó. Általánosan megállapítható, hogy azokon a helyeken, ahol az oldalirányú gravitációs vízforgalom nagy, ott lápi, ahol kicsi, ott szikes növényi élőhelyek alakulnak ki. A fentiek alapján fontosnak tartjuk azt, hogy az oldalirányú gravitációs vízforgalom szempont-

jából a meglévő, vagy ősi folyómedrek szerepe meghatározó jelentőségű.

A mélybeli áramlásoktól függő élőhelytípusok ennek megfelelően a következőképpen jellemezhetők:

1. *lápi élőhelyek*: a mélyből feláramló vízmennyiség nagy, a párologtatással eltávozott vízmennyiség nagy, oldalirányú (főleg a különböző geológiai korú folyómedrek-ből származó) *gravitációs* vízutánpótlás kiegyenlítő hatása;
2. *szikesedő lápok*: a mélyből feláramló vízmennyiség nagy, a párologtatással eltávozott vízmennyiség nagy, oldalirányú *gravitációs* vízutánpótlás nem kiegyenlítő hatása;



3. *szikes élőhelyek*: a mélyből feláramló vízmennyiség nagy, a párologtatással eltávozott vízmennyiség nagy, oldalirányú *gravitációs* vízutánpótlás (átöblítés) nincs.

Botanikai szempontból: ahol tündérrózsás (lápi) élőhely van, ott jelentős és állandó mélybeli vízutánpótlás, valamint időszakos, felszíni vagy gravitációs vízutánpótlás van.

Kismértékben a helyi földtani, talajtani, hidrogeológiai adottságok is közrejátszanak az élőhelyek kialakulásában, de valószínűleg nem azok a meghatározók (azaz hiába van ilyen adottság — ha nincs felfelé áramló mélybeli víz, akkor nincs lápi élőhely).



2. ábra. A Tisza-tó mintaterület. Balra — tündérrózsás előfordulások (fekete pontok, vonalak) a Tisza-tóban; jobbra — a víz nem fagy be télen a mélyből érkező vízáramlások miatt

Fig. 2. "Tisza-tó" study area. Left — presence of water lilies (black dots and lines) on the study area; right — in winter the water doesn't freeze in due to the ascending water from the depth

Gravitáció (és hidrogeológia)

A nehézségi erő (egységnyi tömegre ható gyorsulás, röviden a „g”) mindenkire hat és hétköznapi életünkben állandó, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ értékűnek szokták tekinteni. Ez azonban korántsem igaz!

A geofizika gravitációs kutatási módszere a nehézségi erő (vagy gyorsulás) pontos mérésével azt vizsgálja, hogy a földkéreg (litoszféra) különböző sűrűségű képződményei a tömegvonzásnak köszönhetően milyen változásokat idéznek elő a g értékében. Ezt a földtani kutatásban a hatodik tizedes jegy változásának a mérésével érzjük el úgy, hogy a Föld globális hatását és a domborzat hatását kiszűrjük a mérési eredményekből.

A gravitációs anomáliák kialakulását a képződmények között meglévő sűrűségkülönbségnek köszönhetjük. Gravitációs anomália tehát a földtani felépítés megváltozásakor jelentkező hirtelen sűrűségváltozással függ össze, ami alapvetően három földtani jelenséghez kapcsolható: az egyik a

tektonika, a másik a vulkanizmus, harmadik a metamorfózis. Az utóbbi két jelenség azonosítása a környezet földtani ismeretei alapján, vagy kiegészítő más geofizikai adatok alapján (pl. mágneses mérés) felismerhető. A mi szempontunkból a legérdekesebbek a vetők, amelyek megjelenése az üledékes környezetben erős sűrűségváltozásokat idézhet elő.

A földkéreg feszültségei és az azok energiáját levezető szerkezeti mozgások nyomot hagynak a földtani környezetben. A feszültségek hatására eltérő tulajdonságú kőzetek alakulnak ki vagy — szerkezeti mozgások során — kerülnek egymás mellé (fölé, alá), amit a felszíni gravitációs méréssel detektálni lehet. A gravitációs Bouguer-anomáliatérkép a földtörténet során lejátszódó folyamatoknak a gravitációs „tükörképe”.

Normál üledékképződés mellett folyamatos az átmenet a képződmények sűrűségében. A diagenézis foka, azaz az adott kőzet felett elhelyezkedő kőzetek (litosztatikus) nyomása, a cementáció (mértéke) tovább tömöríti a kőzeteket,

növelve azok sűrűségét. Ebből adódik egy törvényszerűség — minél régebbi egy képződmény, általában annál nagyobb a sűrűsége.

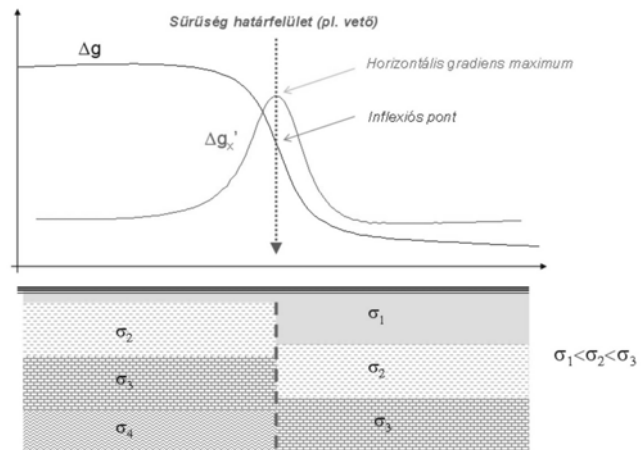
Természetesen a kőzetek litológiai tényezői is fontosak, más tömörödöttséget lehet elérni a nagy szemcseméretű homok és a kis szemcseméretű agyag esetében, ami szintén döntően befolyásolja a kőzetek sűrűségét. Az üledékes kőzet, ha nagy mélységbe kerül, ott összetömörödik és megnő a sűrűsége, ezt akkor is megtartja, ha a mozgásoknak köszönhetően a kőzet ismét a felszín közelébe kerül. Ahol gravitációs anomália van, és a vulkanizmus, metamorfózis hatása kizárható, ott szerkezeti mozgásokat, azaz vetőket kell feltételeznünk.

A 3. ábra egy üledékes összettel feltöltött medence modelljét mutatja, lefelé folyamatosan növekvő sűrűségű képződményekkel. Ha a vető mellett az egyik blokk kiemelkedik (lesüllyed), akkor azonos szintben, egymás mellé eltérő sűrűségű képződmények kerülnek.

Jól azonosítható gravitációs anomália ott alakul ki, ahol a képződmények sűrűsége ugrásszerűen megváltozik. E változásokat digitális adatfeldolgozás segítségével [BLAKELY, SIMPSON 1986] ki tudjuk mutatni — ennek eredménye a gravitációs hatóperem térkép. Sűrű felmérés vagy fedettség esetén területi feldolgozásokat és szerkezet-lehatárolásokat tudunk végezni, amelyek eredményeként sűrűség-határfelületeket (gravitációs lineamenseket) kapunk.

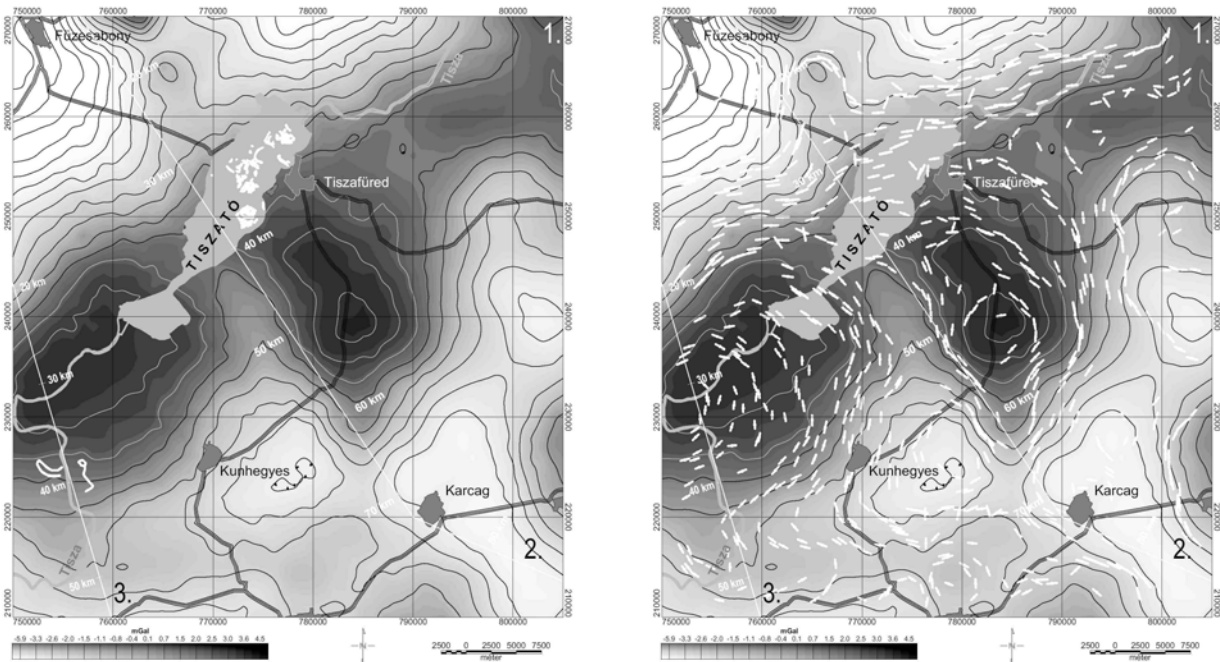
Gravitációs szempontból: ahol gravitációs lineamens van, ott azonos szintben eltérő sűrűségű képződmények kerültek egymás mellé, amit medence területeken, folyamatos üledékképződés esetén, közel függőleges, vagy nagy vízszintes (olyan mértékű, ahol már eltérő kőzetek kerülnek egymás mellé) elmozdulású vetővel, illetve képződmény-határral lehet megmagyarázni.

A Tisza-tó környezetének Bouguer-anomália-térképét és a tündérrózsá-előfordulásokat mutatja a 4. ábra és a gravitációs adatok digitális feldolgozásából kapott hatóperemeket, a szerkezetek irányát jelző csapásiránnyal. A hatóperemektől kirajzolódó lineamensek és a tündérrózsás élőhelyek kapcsolatot mutatnak a Tisza-tó területén. Egy széles, DNy-ÉK irányú szerkezeti zóna és kisebb keresztirányú szerkezetek metszéspontjában jelentkeznek a tündérrózsás élőhelyek, Tiszafüredtől Ny-ra, ahogyan az ábrán is látható. A tündérrózsák olyan helyen jelentkeznek, ahol a Bouguer-anomáliák alapján két jelleghatár találkozása van. Gravitációs lineamensek vannak a Tisza-tó DNy-i részén is, de ott nincsenek tündérrózsák (feltételezhetően vízáró szerkezeteket mutatunk ki)!



3. ábra. A gravitációs hatóperem-kijelölés alapja

Fig. 3. Basic idea of gravity edge detection



4. ábra. Gravitációs adatok és feldolgozások a Tisza-tónál. Balra — Bouguer-anomália-térkép és a tündérrózsák (fehér pont, vonal); jobbra — hatóperemek a szerkezetek csapásirányával (fehér vonalak) a gravitációs feldolgozások alapján

Fig. 4. Gravity data and their processing of the “Tisza-tó” area. Left — Bouguer anomaly map and the locations (white dots and lines) where water lilies are present; right — gravity edges and strike directions (white lines)

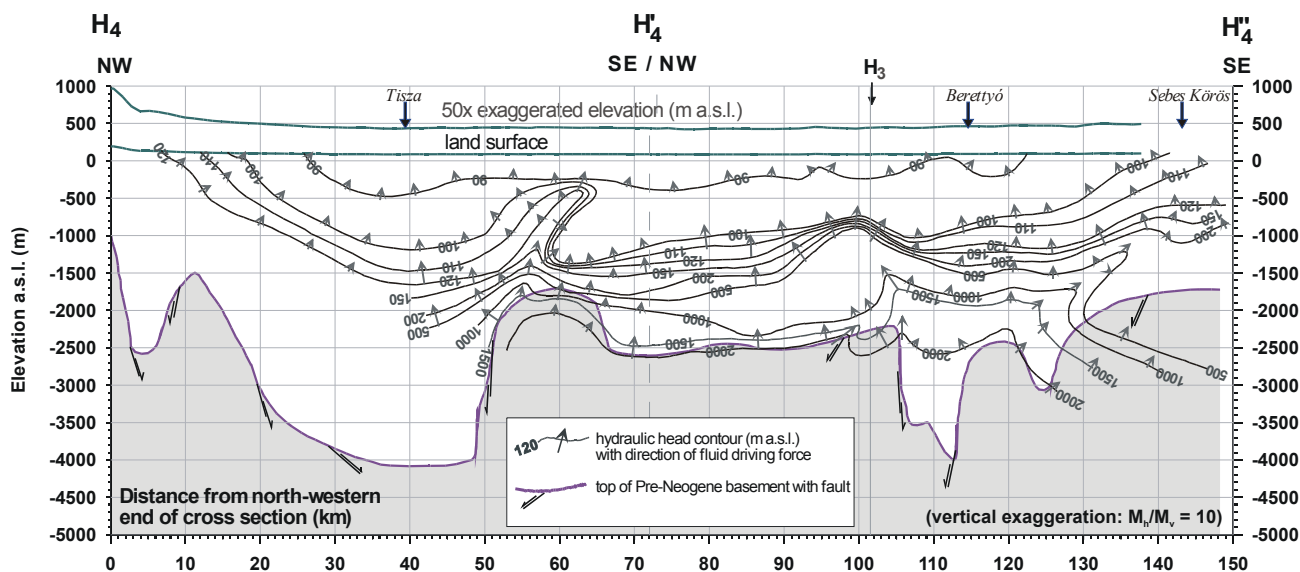
Vizsgálataink alapján a tündérrózsás élőhelyek gyakran a felszíni állóvizek és a gravitációs lineamensek találkozásánál figyelhetők meg. Ezek a helyeken — a tündérrózsák megjelenése alapján — a *felszíni (eutróf)* vízellátás és a *mélyégi (oligotróf)* vízellátás is biztosítva van. A kétféle víz keveredése teremti meg a tündérrózsás élőhelyeknek szükséges *disztróf* környezetet.

Kontrollként más mintaterületeken is elvégeztük a botanikai térképezést és a geofizikai adatfeldolgozásokat. Az eredményeket összevetettük és más mintaterületen is hasonló eredményt kaptunk, amiből arra következtetünk, hogy a tündérrózsák és a gravitációs lineamensek esetében nem véletlenszerű egybeesésről van szó.

Hidrogeológia (és geológia)

Hogyan függhet össze a botanika és a geofizika? Mi lehet a kapcsolat a tündérrózsák és a gravitáció között?

Ennek megértésében TÓTH, ALMÁSI [2001] hidrogeológiai cikke segített. A magyarországi nagy mélységű kutak hidraulikai emelkedési magasságának vizsgálata során sajátos hidrogeológiai jelenségeket figyeltek meg (5. ábra). A nagy rétegyomásnak köszönhetően helyenként felfelé irányuló vízáramlásokat, kürtőhatásokat lehetett kimutatni. Ez azt jelenti, hogy hidrogeológiailag bizonyítható erős felfelé áramlások vannak (lásd 60 km-nél, 500–1000 m mélységben a folyadékpotenciál szelvényen), amelyek *mélybeli* vizeket hoznak a felszínközelbe, vagy a felszínre.



5. ábra. Folyadékpotenciál-szelvény [TÓTH, ALMÁSI 2001]. (A hidraulikus emelkedési magasságok isoértékeit és az áramlások irányát jelöltük)

Fig. 5. Fluid-potential section [TÓTH, ALMÁSI 2001]. (Values of hydraulic lift up and flow-directions are indicated)

A dolog kulcsa tehát a hidrogeológia! De miért alakulnak ki a kürtőhatások?

A felszín alatti vizek áramlásrendszerének tanulmányozása — matematikai modellezésekkel, a folyadék-dinamikai paraméterek elemzésével és a víznek a környezettel való egymásra hatásának vizsgálatával — számos törvényszerűsége hívja fel a figyelmet. Ezek közül a legfontosabbak a mi szempontunkból:

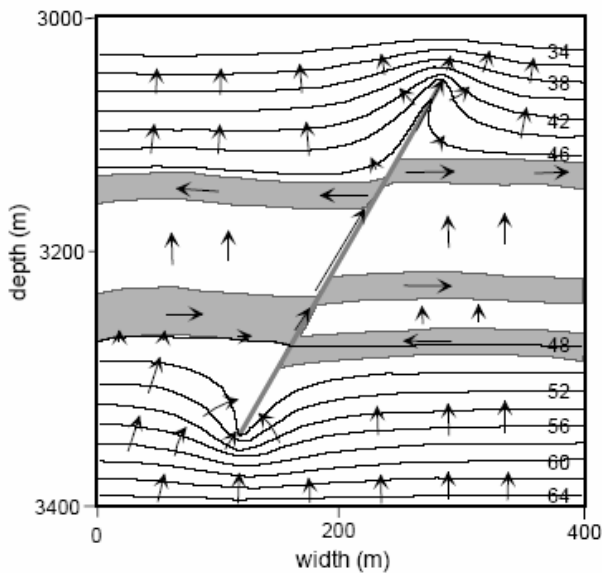
- az áramlás szempontjából a folyadékpotenciál értéke és a közeg permeabilitása döntő fontosságú;
- impermeábilis összlet gyakorlatilag nincs (így a magyar fordítás, a „vízzáró” szó is korlátozottan használandó);
- a tektonikai vonalak módosíthatják az áramlást, attól függően, hogy a vetősík mentén magasabb, vagy alacsonyabb permeabilitású zóna alakul ki;
- egy adott ponton többféle felszín alatti víz is megjelenhet (lokális, átmeneti, regionális), a domborzatnak és a földtani felépítésnek megfelelően.

A hidrogeológiai vizsgálatokról sok publikáció született. Az egyik tanulmány azt vizsgálta, hogy a „permeábilis” vetőknek milyen hatásuk van a felszín alatti vizek áramlására. MATTHAI, ROBERTS [1996] munkája szemléletesen bemutatja egy homokos, agyagos összletben a pórnyomásokat és az áramlási irányokat (6. ábra). Jól látható a

vízfogó (korábban a „vízzáró” elnevezést alkalmazták elterjedten — hibásan, mert nincs teljesen vízzáró összlet, pontosabb a vízfogó kifejezés) összlet alatt a permeábilis vető okozta depressziós tölcser, és a kürtőhatás a vető felső részénél. (Természetesen vannak vízzáró vetők is, pl. Tisza-tó DNy-i része!)

Magyarország, pontosabban az Alföld hidrogeológiai modelljében több olyan nagy mélységben elhelyezkedő vízfogó összlet is van, amely elzárja a felszín alatti mélybeli vizeket, megőrizve azok magasabb hőmérsékletét és nagy nyomását. Bizonyos körülmények között magas hőmérsékleten és nyomáson a szerves anyagok CH gázzá alakulásával, a víz kiszorítása mellett tényleges vízzáró felületek is kialakulhatnak (BCGA rendszer — Basin Centered Gas Accumulation).

Az Alföld két fő vízfogó összlete az algyői és az endródi vízfogó (3. táblázat), mindkettő alsópannon korú. A legfőbb jelentőségük a vízfogó (vízzáró) összleteknek, hogy általuk mindenhol túlnyomást tapasztalunk, ami a rossz vízvezető-képességnek, a vastag üledéksorok kompaktációjának, tektonikai eredetű kompressziójának, geotermikus többletenergiának, vagy esetleg a fázisátalakulások következményeként felszabadult CH gázok többletnyomásának (BCGA) köszönhetően alakultak ki.



6. ábra. Folyadékpotenciálok és áramlási irányok egy homokos (fehér) agyagsávos (szürke) öszletben [MATTHÁI, ROBERTS 1996]. (A felszíntől 3000 m-ig a hidrosztatikus nyomás értéke látható — 3400 m-en a nagysága 0,8-litosztatikus nyomás! Izovonal értékek MPa-ban, a nyilak a folyadék áramlás irányát mutatják)

Fig 6. Fluid-potential and flow-directions in a sandy (white) complex with clay bands (grey) [MATTHÁI, ROBERTS 1996]

A vizek kémiai összetétele megmutatja, hogy az adott víz mekkora utat tett meg a föld alatt, ahogy erre már utaltunk. Általános tendencia, hogy a vizek anion-összetételük alapján kezdetben HCO_3^- , majd SO_4^- , és végül Cl^- jellegűek, azaz a beáramló vizektől a kiáramló vizekig jól meghatározható aniontartalom jellemzi őket (a kationokra is megvan az analóg sor, de az kevésbé karakteres), miközben az O- és CO_2 -tartalom fokozatosan csökken. Az anion- és kationtartalom a víz pH értékével van kapcsolatban, a víz-áramlási útvonalon a vizek pH-ja a beáramlástól a kiáramlási terület felé haladva fokozatosan nő [TÓTH 1999]. A földtani felépítés természetesen okozhat eltérést ettől!

Az 1958-as Vízföldtani Atlasz lehetőséget ad regionális vízkémiai elemzésre. A kútdatok a következő jellegzetességet mutatják:

A negyedkori, levantei és felsőpannon képződmények vizeinek vegyi jellege többnyire HCO_3^- jelegű, azaz a víz-áramlásban rövid utat bejárt vizek — valószínűleg *lokális*, esetleg *köztes* áramlás rendszer részei, közel a beáramlási zónához. Ez a jellegzetesség szinte az egész Alföldre igaz.

Az alsópannonból és az annál idősebb képződményekből nyert vizek már döntően a Cl^- jellegű, azaz a víz-áramlásban hosszú utat bejárt nagy pH értékű vizek.

Ez azt jelzi, hogy az Alföldön a legfiatalabb képződmények (a felsőpannonnal bezárólag) a *lokális* áramlási rendszerhez tartozó vizeket tartalmazzák, míg az alsópannon és az ennél idősebb képződmények a *regionális* áramlási rendszerhez kapcsolódnak a vegyi összetételük alapján.

Ma	AGE	STANDARD MEDITERRAN. STAGES	CENTRAL PARATHETHYS STAGES	STRATIGRAPHY	LITHOLOGY	HYDROSTRATIGRAPHIC UNITS	
0	QUATERNARY	PLEISTOCENE	PLEISTOCENE 1.8	QUATERNARY NAGYALFÖLD FM.	sand / gravel loess / clay	NAGYALFÖLD AQUIFER	
5	PLIOCENE	L. PIACENZIAN	ROMANIAN	ZAGYVA FM.	silt / clay / sand	(aquitard lenses)	
		E. ZANCLEAN	DACIAN	TÖRTEL FM.	sandstone & (siltstone/clay/lignite)		
		MESSINIAN	PONTIAN	ALGYÓ FM.	siltstone / clay marl (sandstone)	ALGYÓ AQUITARD (aquifer lenses)	
		TORTONIAN	PANNONIAN	SZOLNOK FM.	turbidite	SZOLNOK AQUIFER (aquitard lenses)	
				NAGYKÖRŰ FM. TÓTKOMLÓS FM.	clay marl calcareous marl		ENDRÖD AQUITARD
10	MIOCENE	Late	SARMATIAN	BÉKÉS FM. SARMATIAN FM.	conglomerate sandstone / clay marl / limestone	Mid-Miocene Aquifer Pre-PANNONIAN AQUIFER	
			BADENIAN	BADENIAN FM.	rhyolite tuff organo-detritic limestone clay/marl sandstone		
					Early		KARPATHIAN
		OTTNANGIAN	REGIONAL STRATIGRAPHIC H I A T U S				
		BURDIGALIAN		EGGENBURGIAN			
		AQUITANIAN					EGERIAN
		25					

Legend: = local intercalation ~ ~ ~ ~ = "time-transgressive" (formation) boundary

3. táblázat. Az Alföld neogén képződményei, hidrosztratigráfiai egységek [ALMÁSI 2001]

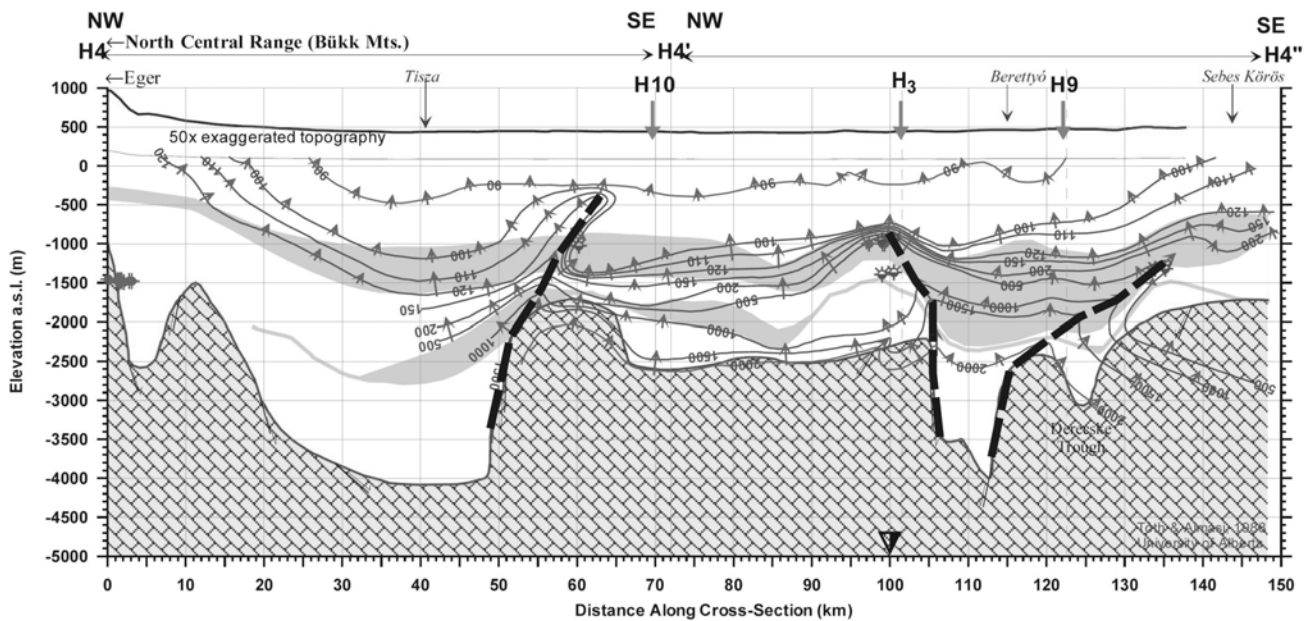
Table 3. Neogene formations of the Hungarian Great Plain and the hydrostratigraphic units [ALMÁSI 2001]

Az alsópannon és annál idősebb vizeknek az energiáját (folyadékpotenciálját) az algyői és endrői vízfogók megőrzik. Ezek a vizek a regionális áramlásrendszerhez tartoznak. Ahol a vízfogó összeletek megnyílnak (kiékelődés, elvékonyodás vagy vető által), ott a regionális vizek felfelé áramlanak és összekeverednek a gravitációs vizekkel, megteremtve a lápi *disztróf* vagy szikes élőhelyek kialakulásának előfeltételeit.

A vízkémiai adatok és a 6. ábra áramlasképe alapján feltételezhetjük, hogy a hidraulikai kürtök tektonikai vonalak mentén alakulnak ki. Felhasználva ezt, az 5. ábra módosításából megkaphatjuk a vetős modellt (7. ábra). Az alaphegységet is elvető szerkezeti elemek gyakran az egészen fiatal üledékekig nyomon követhetők. A törések mentén (szaggatott vonallal jelölve) az alsópannon vízfogó rétegek (szürke színnel jelölve az ábrán) is megnyílnak, és a túl-

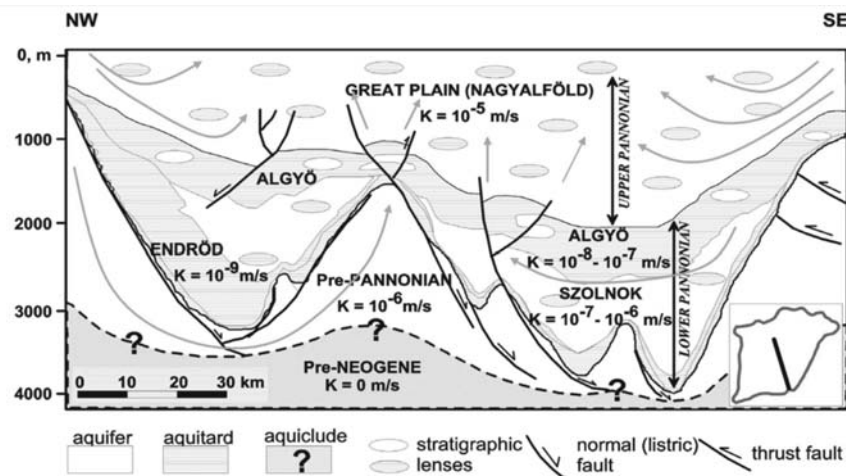
nyomásnak és a hőmérsékletnek köszönhetően erős felfelé áramlás jelentkezik, amelynek vize a felszínközéleben keveredik a gravitációs áramlásrendszerrel. Ezek a fellazult szerkezeti zónák, a vízáramlás szempontjából, fontos áramlási csatornát jelenthetnek (7. ábra).

Egy másik példán a fűrasi adatokból szerkesztett mélység-szelvényen (8. ábra) jól láthatók a főbb vízáteresztő és vízfogó összeletek helyzete az Alföldön. A vizek áramlása a víztározó összeletekben — meghatározott törvényszerűségek alapján — akadálymentesen folyik. A vízfogó részlet elzárja az utat, így a mélyebb rétegek túlnyomásos vizei nem tudnak felfelé, a kisebb energiájú helyek felé vándorolni. A gyakorlatban azonban mindig vannak fellazult zónák, tektonikai vonalak, amelyek mentén a nagy nyomású víz utat talál magának.



7. ábra. Folyadékpotenciál-szelvény — vetős modell [TÓTH, ALMÁSI 2001, módosítva]. A medencealjzat (mészke szimbólum) feletti üledékek szétválasztása víztározó (fehér szín) és vízfogó (szürke szín) összeletekre, valamint a feltételezett vetők helyzete (fekete szaggatott vonal)

Fig 7. Fluid-potential section — model with faults



8. ábra. Regionális földtani szelvény átlagos permeabilitásokkal, és a feltételezett áramlási irányokkal — szürke nyilak [JUHÁSZ 1991; ALMÁSI 2001 után módosítva]

Fig. 8. Regional geologic section with average permeability and assumed flow directions (gray arrows) [modified after JUHÁSZ 1991; ALMÁSI 2001]

A vízfogó összletek esetében az áramlások nagy valószínűséggel a tektonikailag fellazult zónákhoz kötődnek és az áramlásban részt vevő vizek döntő többsége ezeken a zónákon vándorol felfelé, megkerülve a vízzáró képződményekből álló kőzetlencséket.

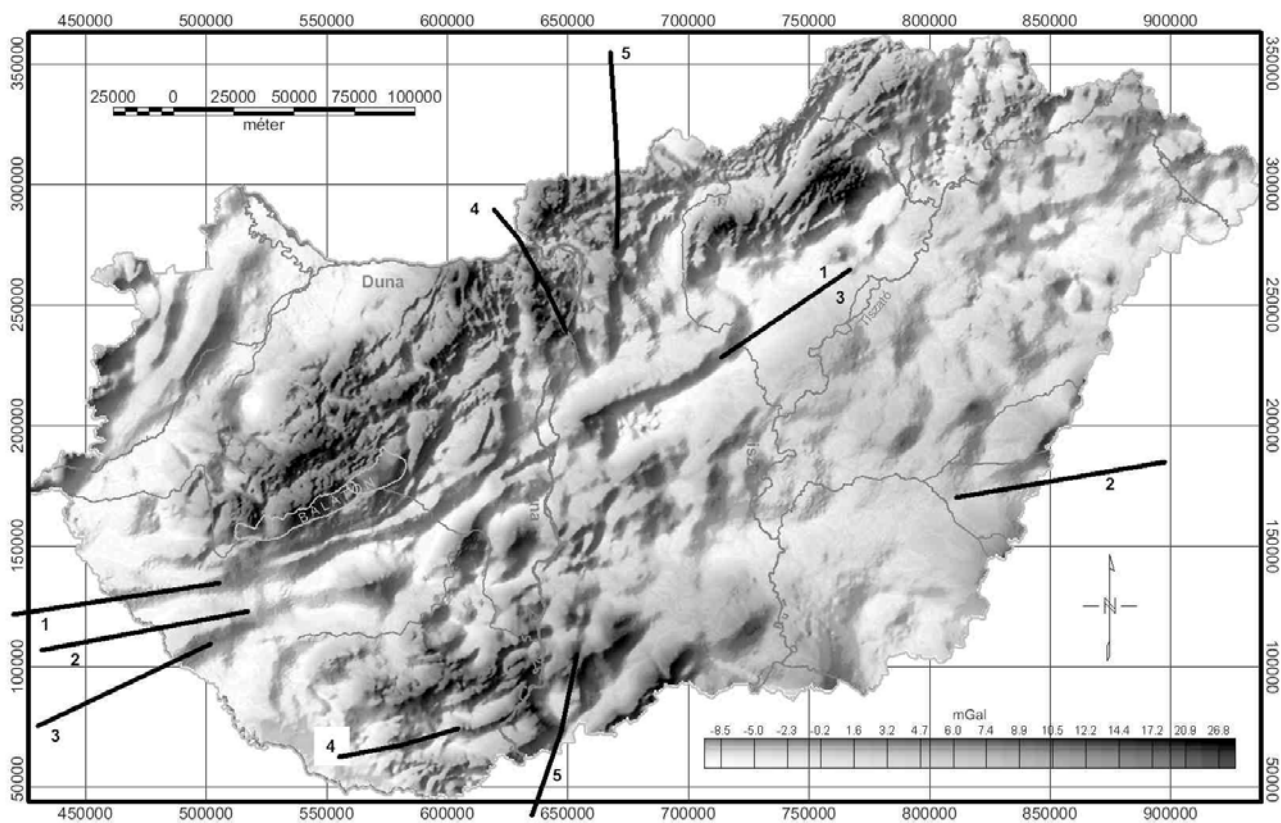
A tüdőrrózsák és a gravitációs erőter közötti kapcsolatot a hidrogeológia adja meg. A *hidrogeológiai rezsim* — a felszín alatti vizek áramlási rendszere — függ a mélybeli szerkezeti zónáktól (amelyeket a gravitációs adatokból azonosíthatunk), de biztosítja is a tüdőrrózsák alapvető létszükségeit, azaz a megfelelő minőségű vízutánpótlást.

Hidrogeológiai szempontból: ahol gravitációs lineamensek mentén tüdőrrózsát találunk, ott egy feltehetően az aljzattól induló, egészen a felszínközeli összletekig jelentkező, többé-kevésbé aktív törésvonal van, vagy egy olyan képződményhatár, amely megtereli, megvezeti a vizeket, hidraulikai kürtőhatást okozva. Ezek mentén jelentős mennyiségű mélybeli, feltételezhetően magasabb hőmérsékletű víz juthat felszínközelsébe.

Duna-Tisza köze mintaterület

Ez a mintaterület adja a kutatásaink szempontjából legjobban azonosítható kapcsolatot egy regionális léptékű geofizikai szerkezet-indikáció és egy felszín alatti áramlást jelző vízi növényi társulás között.

A KISS [2006] cikkben érdekes gravitációs lineament — a Galga–Mohács vonalat — mutattunk ki a Kiskunság területén (9. ábra, 5-ös számú lineament). A Galga–Mohács gravitációs lineament (4. táblázat) szakaszokból összeálló, közel É–D irányú ívelt vonalként jelentkezik, és jól azonosíthatóan látszik a DNy–ÉK irányítottágú nagyszerkezeti vonalak (9. ábra, 1-es, 2-es, 3-as számú lineamentek) dominanciájával jellemezhető gravitációs Bouguer-anomália-térképen. A Galga–Mohács lineament É-on és D-en is elágaztatható, az így kapott vonalnak egyik lehetséges változata a Pilis D-i peremétől húzható a mohácsi Duna-ágra egy ívelt vonal mentén (9. ábra, 10. ábra 4-es lineament), ez a Pilis–Mohács lineament. A lineament középső szakasza a Galga–Mohács lineamenttel azonos.



9. ábra. Árnyékolt gravitációs Bouguer-anomália-térkép néhány lineamenttel

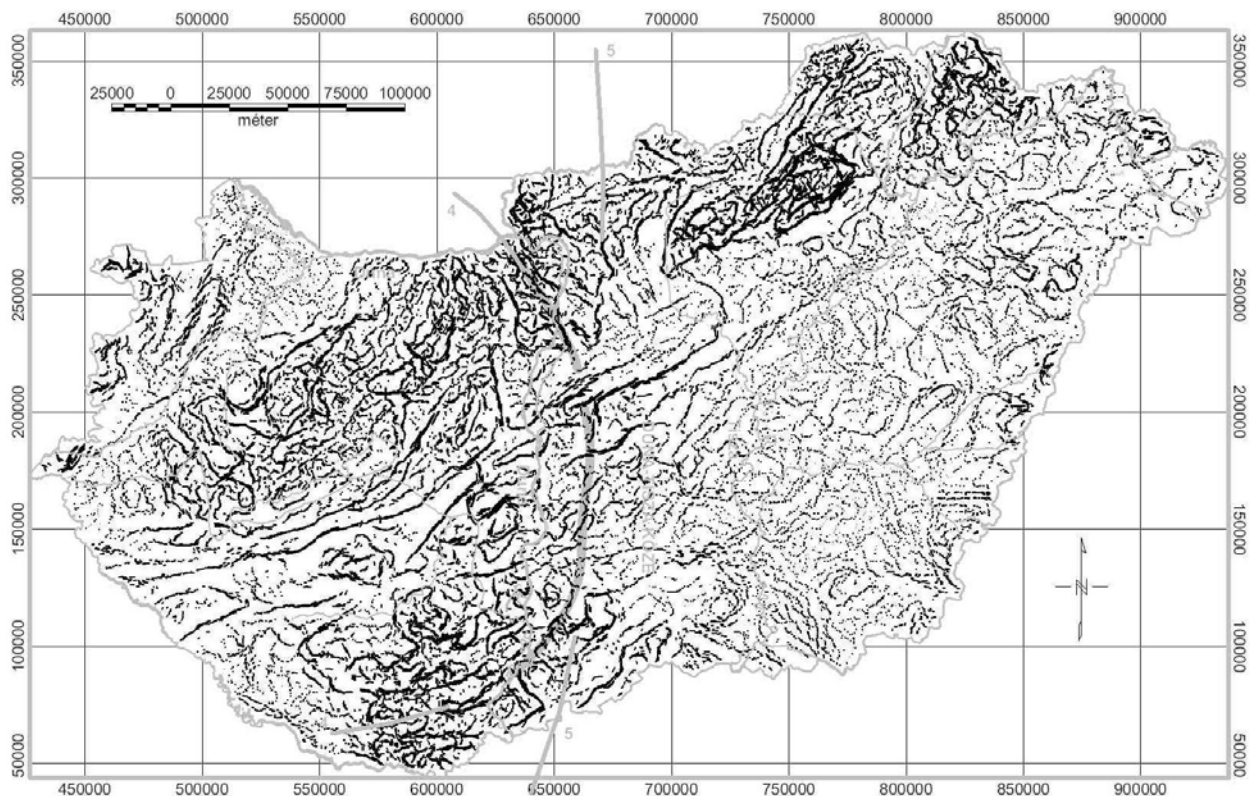
Fig 9. Bouguer anomaly map and several lineaments enhanced by shadowing

N°	A lineament leírása, azonosítás
1	Balaton-vonal (NyDNy–KÉK)
2	Kapos–Körös-vonal (NyDNy–KÉK)
3	Közép-magyarországi vonal (DNy–ÉK)
4	Pilis–Mohács vonal (É–D ívelt vonal)
5	Galga–Mohács-vonal (ÉÉNy–DDNy)

4. táblázat. A 9. ábra gravitációs lineamentjei

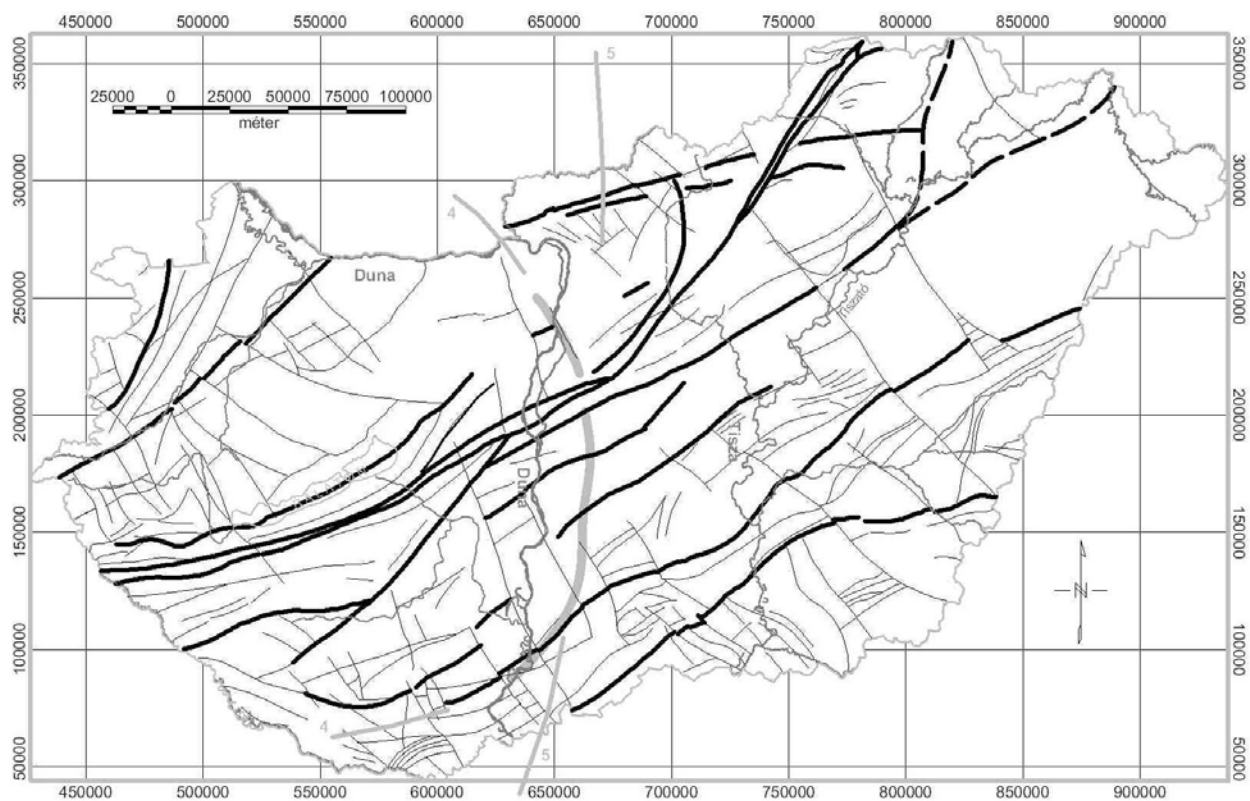
Table 4. The lineaments on the map of Fig. 9

Az országos szerkezetföldtani térkép nagyszerkezeti vonalait a 11. ábra mutatja. A nagyszerkezeti térképen a Pilis–Mohács vonal (szürke szímmel jelölve) csak a Csepel-sziget É-i részén, rövid szakaszon van azonosítva tektonikai vonalként. A Galga–Mohács lineamentnek mint tektonikai vonalnak nyoma sincs, mivel a fő nagyszerkezeti vonalak — a Bouguer-anomália-térkép alapján — elnyomják a hatását, tektonikai szempontból is alárendelt helyzetben van, pedig a Dunántúl irányából leszakadó Alföldnek ez az első (vagy második) szerkezeti lépcsője, amit gravitációs módszerrel ki is lehet mutatni.



10. ábra. Gravitációs hatóperem-térkép a Pilis–Mohács lineamenssel. 4 — Pilis–Mohács lineamens (szürke háttérszínnel a nyomvonala), 5 — Galga–Mohács vonal

Fig. 10. Gravity edge map with the lineament „Pilis–Mohács”. 4 — Lineament “Pilis–Mohács” (gray), 5 — Lineament “Galga–Mohács”



11. ábra. A főbb szerkezeti vonalak (fekete vonalak) vázlatosan az 500 000-es szerkezetföldtani térkép alapján [DANK, FÜLÖP 1990, módosítva]

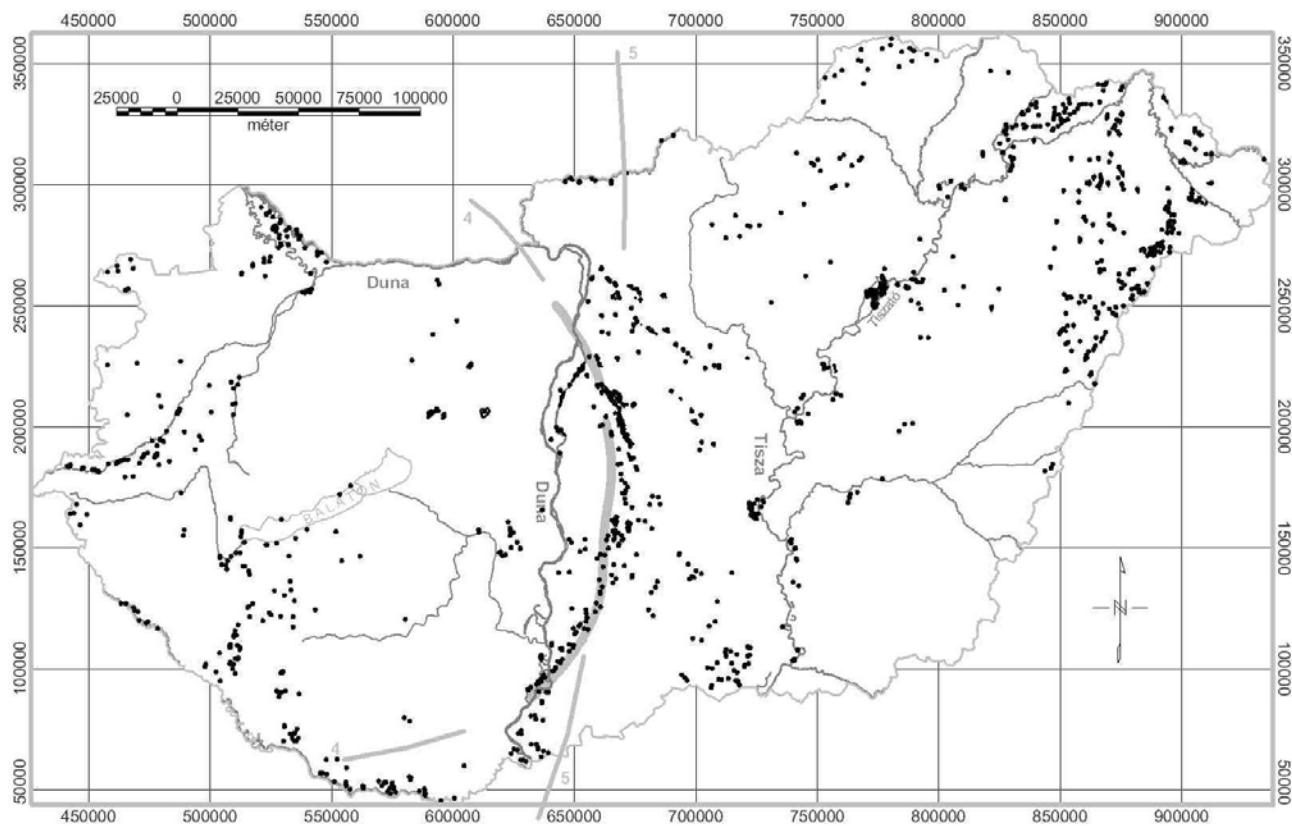
Fig. 11. Major structural lines (black) based on the 1: 500 000 geologic map [modified after DANK, FÜLÖP 1990]

A Pilis–Mohács lineamens azért érdekes, mivel a vonal mentén felfűzve nagyon sok lápi és szikes élőhelyet találunk (12. ábra).

A gravitációs lineamens (9. ábra, 10. ábra, 11. ábra, 12. ábra, 4-es vonal) egy olyan zónaként jelentkezik, amelyből nagy mennyiségű mélybeli vízutánpótlás jöhet a felszín

közelébe, a mélységi vizek valódi megjelenését a tündérrózsás (*disztróf*) vízinövényi élőhelyek bizonyítják.

A felszín alatti vizek gravitációs áramlási rendszerének a domborzat által meghatározott ki- és beáramlási területeit az Alföld területére ALMÁSI PhD dolgozatában [2001] találhatjuk meg (13. ábra).



12. ábra. Feltérképezett lápi élőhelyek (fekete pontok) Magyarországon a Pilis–Mohács (4) és a Galga–Mohács (5) lineamensekkel

Fig. 12. Fen habitats in Hungary (black dots) with the lineaments “Pilis-Mohács” (4) and “Galga-Mohács” (5)

A tündérrózsza dominanciájú és a lápi és szikes sorozathoz tartozó élőhelyek a kiáramlási és az átmeneti (középvonal) területek közötti zónában jelentkeznek. A kiáramlási zóna egy széles sáv, ami a Duna menti síkságnak felel meg. A tündérrózsák ezen belül egy jól meghatározott vonal mentén jelentkeznek, aminek mi fontos jelentőséget tulajdonítunk.

A felszíni és gravitációs felszín alatti vizek ugyan biztosítják a vízi élővilág számára a folyamatos víz utánpótlást, de nem magyarázzák meg a tündérrózsás élőhelyeknek szükséges oxigénszegény mélységi vizek jelenlétét. A kiáramlási zóna mélybeli áramlatokat nem írja felül, csak módosítja azok megjelenését. A kiáramlás zóna egyben biztosítja a felszíni, felszínközeli vízutánpótlást [MÁDLNÉ et al. 2005].

Találunk elszórtan tündérrózsás élőhelyeket a vonal mentén távolabb is. Ebben az esetben már a lokális földtani felépítés határozza meg az élőhelyek kialakulását, illetve az áramlásviszonyokat. A beáramlási területek alatt jelentkező mélybeli felfelé áramló vizeket a felszínközeli gravitációs vizek az átmeneti, illetve a kiáramlási zóna irányába terelik. A szerkezetek mentén feláramló mélységi vizek keverednek a gravitációsan meghajtott felszíni vizekkel, és

amelyik erősebb, annak az áramlásnak a hatása dominál. A mélységi vizek megtámasztják, megterelik a felszíni vizeket és fordítva.

A Duna–Tisza közén tehát van egy nagymélységű (nem felszíni), jelentős sűrűségkülönbséggel jellemezhető határfelület (feltételezhetően szerkezeti zóna), amely mentén a mélybeli vizek — például a kürtőhatásnak köszönhetően — felfelé áramlanak.

A Pilis–Mohács gravitációs lineamens és a lineamens mentén megjelenő tündérrózsás élőhelyek (lápi sorozat) egy tektonikai eredetű közel függőleges, mélybeli (felszín alatti) folyadékáramlási rendszert jeleznek.

Következtetések

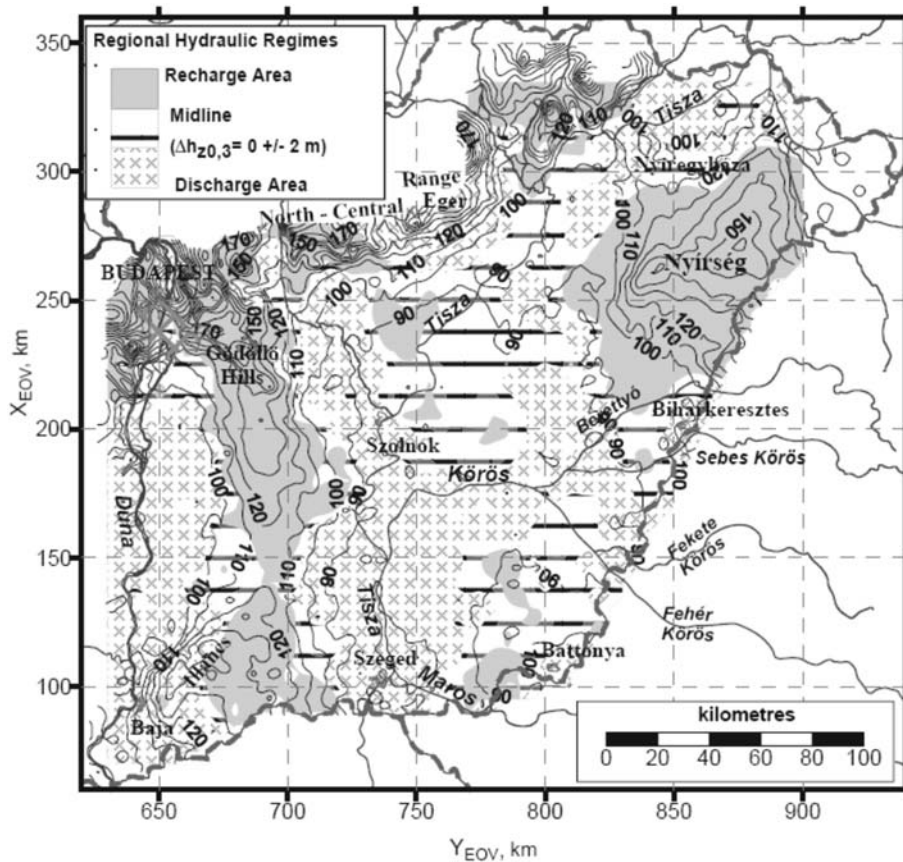
A fentiekből látszik, hogy több feltételnek is teljesülnie kell ahhoz, hogy a vízi, s azon belül is állóvízi lápi és szikes élőhelyek kialakuljanak:

1. A állóvízi élőhelyek, a vastag, laza üledékek esetén (pl. Alföld) gyakran a meglévő, vagy különböző geológiai korú (ős)folyók mentén és/vagy azok lefűződött holtágai alakulnak ki. Ezek a folyómedrek geológiai inhomogenitásként jelentkeznek a hidrodinamikai áramtér-

ben és megváltoztatják a csak domborzattól függő gravitációs áramlasképet, jobb vízellátást biztosítva az élőhelyeknek.

- Ugyanilyen geológiai szerepet tulajdonítunk a geológiai törésvonalaknak is azzal a további kitételrel, hogy a törésvonalak geológiai meghatározható esetekben ún.

hidrogeológiai „kürtőhatást” okozva a gravitációs rezsimek áramlási rendszerét felülírják, így a két (a gravitációs és a túlnyomásos) rezsimek határfelületét is módosítják. Ott, ahol a mélységi vizek dominanciája a jellemző, lápi és szikes állóvízi növényi élőhelyek alakulnak ki.



13. ábra. Domborzat által meghatározott hidraulikai rezsimek [ALMÁSI 2001]

Fig. 13. Hydraulic regime determined by topography [ALMÁSI 2001]

Pontokba szedve a következők állapíthatók meg:

- Mit jelez a tündérrózsás (disztróf) élőhely?
Ahol tündérrózsás élőhely van, ott jelentős és állandó felszín alatti, mélybeli vízutánpótlás van, valamint időszakos felszíni vagy gravitációs vízutánpótlás.
- Mit mutat a gravitációs anomália, hatóperem?
Ahol gravitációs lépcső, hatóperem van, ott eltérő sűrűségű kőzetek kerültek azonos szintben egymás mellé, ami szerkezeti vonalat, vetőt vagy képződményhatárt jelenthet.
- Hol találunk túlnyomásos rétegvizekre utaló felfelé áramlásokat?
Ahol gravitációs hatóperem mentén tündérrózsás élőhelyet találunk, ott egy mélybeli aktív törésvonal van, vagy egy olyan képződményhatár, ami áramlási pályát jelent a mélybeli vizeknek, amelyek nagyobb folyadékpotenciálja miatt hidraulikai kürtőhatás alakul ki.

A jelenségek külön-külön is létezhetnek, mert nem minden gravitációs lineamens jelent permeábilis folyadékáramlási zónát és a túlnyomásos vizek a permeábilis, például közel horizontális rétegekben, messze elvándorolhatnak az utánpótlást jelentő szerkezeti elemtől, így máshol is kialakulhatnak lápi disztróf élőhelyek.

További bizonytalanságot jelent, hogy nem minden permeábilis vető jelentkezik a felszíni geofizikai mérésekben. A kis mértékű — de akár többször felújuló — elmozdulások, szerkezetek nem okoznak kimutatható változásokat a gravitációs erőterben.

Mindezek ellenére a tündérrózsás és a gravitációs lineamens együttes megjelenésénél feltételezhetjük azt, hogy a felszín alatti vizek feláramlása egy tektonikailag megbolygatott zónán, áramlási csatornán keresztül történik!

Cikkünkben azon kérdésekre kerestünk választ, hogy milyen biotikus-abiotikus környezeti jellemzők határozzák meg a tündérrózsás lápi élőhelyek kialakulását, hogy mit jeleznek a gravitációs nehézségi erőter anomáliái, és hogy hogyan lehet ezeket a tényezőket összekapcsolni. A vizsgálatok eredményeként sikerült egy olyan egyszerű és megalapozott ok-okozati rendszert felállítani, amely a botanikai feltételek, geofizikai térelméletek és a hidrogeológiai törvényszerűségek szempontjait is kielégíti.

A vizsgálatok ismételten felhívják a figyelmet a geokörnyezettudományok interdiszciplináris jellegére.

Köszönetnyilvánítás

- Az OTKA (T 043100), az ELGI és az SZTE vezetésének, hogy hivatalosan, tudományos együttműködése keretében foglalkozhattunk a kutatási témával;
- TÓTH József professzor úrnak, hogy az ELTE hidrogeológiai doktori kurzusán [TÓTH 2005] tartott színvonalas előadásával, cikkeivel és esettanulmányaival lehetővé tette számunkra, hogy valamit megértsünk a tündérrózsák és a gravitációs anomália-tér kapcsolatából.

HIVATKOZÁSOK

- ALMÁSI I. 2001: Petroleum Hydrogeology of the Great Hungarian Plain, Eastern Pannonian Basin, Hungary. PhD értekezés, University of Alberta, Edmonton, Kanada (angol nyelven)
- BLAKELY R. J., SIMPSON R. W. 1986: Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics* **51**, 1494–1498
- DANK V., FÜLÖP J. 1990: Magyarország földtani atlasza: Magyarország szerkezetföldtani térképe M=1:500000, MÁFI
- DECAY J. W. H., KLUG M. J. 1979: Methane efflux from lake sediments through water lilies. *Science* **203**, 1253–1255
- DECAY J. W. H. 1980: Internal winds in water lilies: an adaptation for life in anaerobic sediments. *Science* **210**, 1017–1019
- DECAY J. W. H. 1981: Pressurized ventilation in yellow water lily. *Ecology* **62**, 1137–1147
- DECAY J. W. H., KLUG M. J. 1982: Ventilation by floating leaves in Nuphar. *Amer. J. Bot.* **69**, 6, 999–1003
- Élőhelyismereti útmutató — <http://www.novenyeterkep.hu/eiu/>
- FELFÖLDY L. 1984: Hidrobiológia — szavakban, Hidrobiológiai értelmező szótár, Vízügyi Hidrobiológia 13. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest
- JUHÁSZ Gy. 1991: Lithostratigraphic and Sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld) Eastern Hungary. *Acta Geologica Hungarica* **34**, 53–72
- KISS J. 2006: Magyarország gravitációs lineamenttérképe — első eredmények. *Magyar geofizika* **47**, 2, 71–79
- LÁJER K. 1998: Bevezetés a magyarországi lápok vegetáció-ökológiájába. *Tilia* **6**, 84–238
- MÁDLNÉ SZÖNYI J., SIMON Sz., TÓTH J., POGÁCSÁS Gy. 2005: Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolata a Duna–Tisza közti Kelemen-szék és Kolon-tó esetében. *Általános Földtani Szemle* **30**, 93–110
- MATTHAI S. K., ROBERTS S. G. 1996: The influence of fault permeability on single phase fluid flow near fault-sand intersections: results from steady-state high resolution models of pressure-driven fluid flow. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **80**, 1763–1779
- SZALMA E. 2003: Vízínövények életformája és élőhelyeik szerinti csoportosítása. PhD értekezés, Debreceni Egyetem TTK
- SZALMA E., KISS J. 2006a: Paradigmaváltás a hidrobiológiában, avagy hol alakulnak ki a lápi és szikes élőhelyek? The 13th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged. Abstracts of the conference p. 19–23
- SZALMA E., KISS J. 2006b: A Kiskunsági Nemzeti Park területén található felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek botanikai és geofizikai vizsgálata. *Hidrológiai Tájékoztató* **61–62**
- TÓTH J. 1999: Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal* **7**, 1–14
- TÓTH J., ALMÁSI I. 2001: Interpretation of observed fluid potential pattern in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. *Geofluids* **1**, 1, 11–36
- TÓTH J. 2005: Felszín alatti vizek gravitációs áramlási rendszere: alapfogalmak, vizsgálat és felhasználás. Doktori Kurzus (Előadás és szeminárium), ELTE Földrajzi, Földtudományi Intézet, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék
- Vízföldtani atlasz 1958, MÁFI