



MISKOLCI EGYETEM
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A Doktori Iskola vezetője:
Prof. Dr. Dobróka Mihály
egyetemi tanár

**PORÓZUS VÍZFÖLDTANI RENDSZEREK VIZSGÁLATA
KÖRNYEZETI IZOTÓPOKKAL**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISFÜZETE

KÉSZÍTETTE:
Kompár László
okl. környezetmérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐ:
Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár, az MTA doktora

TÁRS-TÉMAVEZETŐ:
Dr. Kovács Balázs
c. egyetemi docens, PhD

Környezetgazdálkodási Intézet
Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

Miskolc, 2017

Bevezetés, célkitűzés

Az egyre szélsőségesebbé váló időjárási viszonyok jelentős hatást gyakorolnak a természetes vízkörforgalomra. Ezek a jelenleg még nem pontosan ismert hatások erőteljesen befolyásolhatják a felszín alatti vizek természetes utánpótlódási viszonyait. A témakörhöz kapcsolódó kutatásoknak stratégiai jelentősége van a felszín alatti vízkészletekkel való gazdálkodásban. A biztonságos ivóvízellátás miatt kiemelkedő jelentősége van annak, hogy a szakemberek tisztában legyenek az ivóvízbázisokat érintő hatásokkal. A megfelelő vízkészlet-gazdálkodási stratégia kialakítása mellett olyan intézkedések is megfontolandók, amelyek a lefolyási és beszivárgási viszonyok módosításával ezen várható negatív változások hatásait leginkább képesek mérsékelni. A talajvíz szintje határozza meg a felszín alatti víztől függő ökoszisztémánk állapotát is, amelyek közül számos nemzetközi védelem alatt áll. Az aszály – belvíz – öntözővíz – vizes élőhely problémakör tartósan nem oldható meg a felszín alatti vízkészletek figyelembe vétele nélkül.

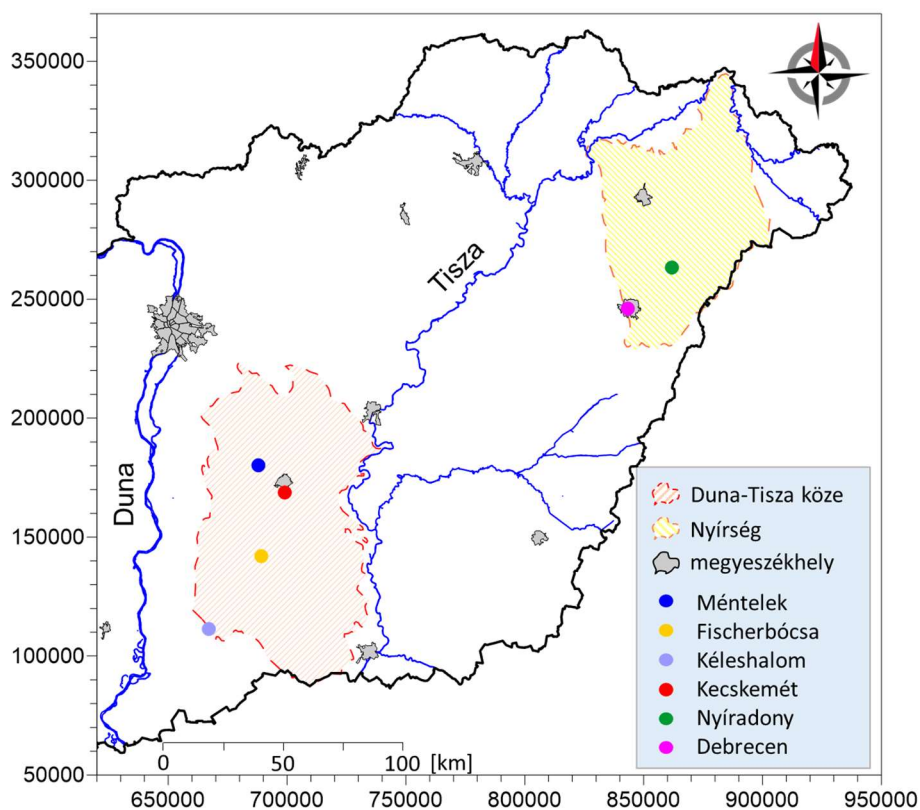
Kutatási témám létjogosultságát a 2000. december 22-től hatályos EU Vízkéretirányelv (VKI) is alátámasztja, és jelentőségét nagymértékben kiemeli. A VKI egy olyan egységes vízvédelmi politika életbe lépését jelentette, amely állam- és országhatárokon is átnyúlva a vízgyűjtőkön való, koordinált vízgazdálkodás megvalósulását segíti elő, továbbá hozzájárul a vízvédalom harmonizálásához és a vizek terhelésének csökkentéséhez is. Célkitűzései között szerepel a vízkészletek fenntartható használatának elősegítése, a felszín alatti vizek szennyezés-terhelésének csökkentése, továbbá az áradások és aszályok hatásainak mérséklése is. A VKI célkitűzéseinek végrehajtására irányuló vízgyűjtő gazdálkodási tervezés felülvizsgálatának második fázisa 2015. végén lezárult, 2016-ban elfogadásra került a felülvizsgált Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT2), amelynek végrehajtása most történik.

A VKI előírása szerinti Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv felülvizsgálatához sorosan kapcsolódik a Kvassay Jenő Terv (a továbbiakban KJT), amelyben szintén megjelenik a felszín alatti víz, illetve annak utánpótlódásának kérdésköre. A KJT célja a magyarországi vízgazdálkodási viszonyrendszer feltárása és a szükséges intézkedések megfogalmazása. A KJT-ben világosan megjelenik, hogy a felszín alatti vizek csökkenő mértékű utánpótlódásának hatására azok szintjének regionális süllyedése várható (pl. a Homokhátságon és a Nyírségben). A megfogalmazottak alapján a Dél-Alföldön már rövidtávon is számíthatunk a rétegvíz-készletek csökkenésének felgyorsulására, valamint a felszín alatti szivárgási és áramlási viszonyok dinamikájának megváltozására.

A hazai ivóvízellátás biztonsága, a felbecsülhetetlen értékű ásvány-, gyógy- és hévízkészleteink jövőbeli alakulása és hasznosítása miatt a természetes utánpótlódási kérdések tisztázása tudományos kutatómunkára alapozva kiemelten szükséges. A környezeti izotópok még szélesebb körű alkalmazása a vízföldtani kutatásokban új kutatási irányok megjelenését kívánja. A környezeti izotópok felszín alatti vizekben történő mérésével igazolható és számszerűsíthető az egyre szélsőségesebbé váló időjárási viszonyok hatásai a felszín alatti vízforgalomra.

A kutatási területek bemutatása

Doktori (PhD) értekezésem keretén belül Duna-Tisza közzi és nyírségi kutatási területeken végeztem vizsgálatokat, amelyek során csapadék-idősorokat, talajvíz- és rétegvízszint idősorokat elemeztem az egyre szélsőségesebbé váló időjárási viszonyok igazolására. Duna-Tisza közzi kutatási területeken (Ménfőtelek, Kecskemét, Fischerbócsa és Kéleshalom) és Debrecenben már meglévő kútcsoportokat használtam vízigotópos vizsgálatokra, míg a nyírségi (Nyíradony), speciális izotóphidrológiai kutatásokra létesített kútcsoport kialakítása a doktori (PhD) tanulmányaim ideje alatt valósult meg (1. ábra).



1. ábra A kútcsoportok elhelyezkedése

Alkalmazott módszerek

A természetben előforduló izotópok között vannak olyanok, amelyek radioaktív bomláson mennek keresztül. Ezek között található rövidebb és hosszabb felezési idejű izotópok is, mint például a trícium (^3H) és a radiokarbon (^{14}C). A vízföldtani kutatásoknál a radioaktív izotópokat elsősorban a vizek kormeghatározására használják, amelynek lehetőségét a viszonylag nagy pontosságú mérési technikák biztosítják, kiválóan használhatóak a függőleges beszivárgási sebesség és a rétegirányú áramlási sebesség számítására is.

Doktori (PhD) értekezésem során a környezeti izotópok közül a ^3H -ot használtam, mint természetes nyomjelzőt. Az alkalmazott ^3H -csúcs módszernél az 1952-től, az első termonukleáris magfúzió alapuló hidrogénbomba felrobbantásától a Föld légkörébe került többlet ^3H 1963-as maximum értékének mélységbeli helyzetét kerestem, ez képezte a beszivárgási számításaim alapját.

A kutatási területekre hidrodinamikai és anyagtranszport számításokat végeztem, amelyek során input paraméterként a csapadékot, illetve annak ^3H -koncentrációját használtam, annak ismert fizikai-kémiai tulajdonságai, radioaktív bomlási állandója, illetve a csapadékkal a felszín alatti vizekbe juttatott mennyisége alapján módszer alkalmas a felszín alatti vizek természetes utánpótlódásának lekövetésére. A ^3H felezési idejét, szorpciós és diszperziós paramétereit figyelembe véve a vízben lévő ^3H időbeli előrehaladását tudtam megadni. A különböző mélységekből vett vízminták mért ^3H -koncentráció értékeinek felhasználásával ^3H -mélység profil felvételére volt lehetőségem. A modellezés során a mért és a modellezett ^3H -profilok összehasonlítását, a mért ^3H -koncentráció értékekhez leginkább hasonló eredményeket adó anyagtranszport modellt választottam ki („trial-and error”).

A ^3H -mérések mellett lehetőségem volt nemesgázvizsgálatokra is, amelyek kapcsán $^3\text{H}/^3\text{He}$ vízkorokat számítottam, azok mélységbeli helyzeteiből szintén számítottam a beszivárgást. A „ $^3\text{H}/^3\text{He}$ -óra” minden esetben a csapadékvíz talajvíztükröt történő elérésekor indul (amikor a beszivárgott csapadékvízbe már nagy valószínűséggel nem oldódik talajgáz), így vízföldtani rendszerek komplex utánpótlódási vizsgálatainál kiemelten fontos tudni a csapadékvíz telítetlen zónában eltöltött idejét is.

A radioaktív izotópok mellett a stabil izotópok alkalmazása is egyre elterjedtebb a vízföldtani kutatások terén. A hidrogén és az oxigén stabil izotópjából kilencféleképpen képződhet stabil vízmolekula, amelyek közül a leggyakoribb és egyben a legkönnyebb a $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, míg a legnehezebb a $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ felépítésű. A csapadék $\delta^{18}\text{O}$ és $\delta^2\text{H}$ értéke azonban az évszakokkal

periodikusan változik: a mérsékelt éghajlati övben nyáron pozitívabb, míg télen negatívabb az értékük. Telítetlen közegbeli vizsgálataim során ezt a sajátosságot használtam ki, a téli és nyári csapadékok mélységbeli helyzetét azonosítva.

A homoktalajú kutatási területeimnél felépített telítetlen közegbeli modelljeim esetében szintén függőleges szivárgást feltételeztem, ahol a csapadékban mért $\delta^{18}\text{O}$ értékeket az adott területekre jellemző csapadékmennyiségekkel juttattam a vizsgálati rendszerbe. Vízföldtani modelljeim input paraméterei voltak még a megvett talajmintákon végzett saját laboratóriumi vizsgálati eredményeim (szemcseeloszlás, szivárgási tényező, effektív porozitás). A modellezés során a téli és nyári félévekben beszivárgott csapadékok azonosíthatóvá váltak, a minimum és maximum értékek mélységbeli helyzetéből a nedvességfront függőleges irányú mozgása vált definiálhatóvá.

A felszín alá szivárgó víz a talajszemcsék között elhaladva a talajgázokból magába old valamennyit, amely mennyisége elsősorban a talaj hőmérsékletétől függ. A talajgáz összetétele a nemesgázok parciális nyomását tekintve legtöbb esetben levegőnek felel meg, míg a talajgáz nyomását a tengerszint feletti átlagos magasságból lehet meghatározni. A víz áramlási pályája mentén a kémiaileg aktív gázok mennyisége biológiai és kémiai folyamatok következtében megváltozhat, azonban a nemesgázok koncentrációit ezek a folyamatok nem befolyásolják. Éppen ezért a nemesgázokat fel lehet használni olyan fizikai folyamatok vizsgálatára, amelyek hatással vannak a porózus vízföldtani rendszerekben a felszín alatti víz és a talajszemcsék között található gázfázis közötti oldódási és megoszlási mechanizmusokra.

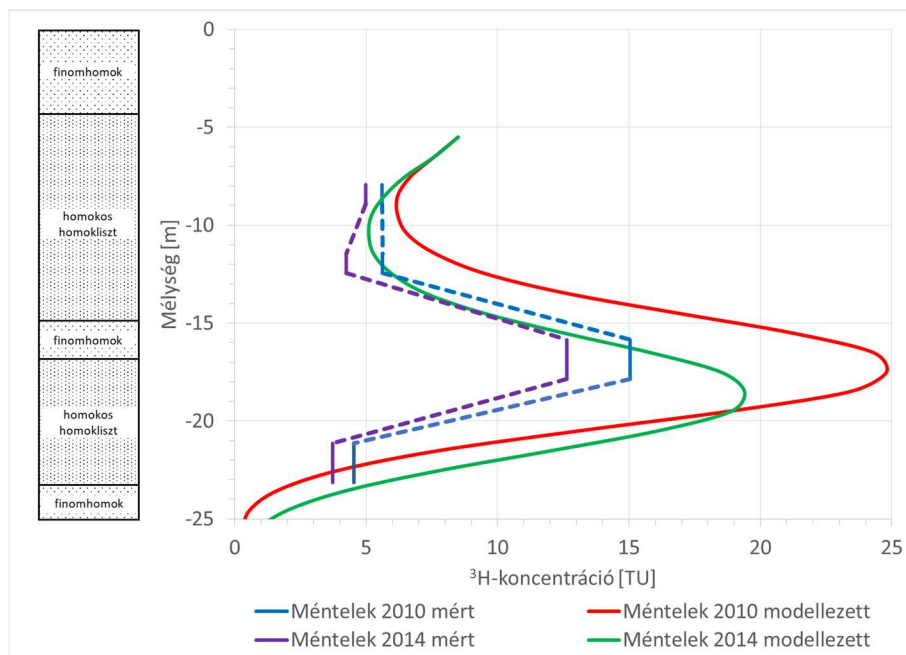
Amikor felszín alatti vizek nemesgázaival foglalkozunk, a legtöbb esetben a víz $^3\text{H}/^3\text{He}$ -korát, a beszivárgási hőmérsékletet, illetve a többletlevégő mennyiségét szeretnénk meghatározni. Ezekhez viszont meg kell határozni azokat a komponenseket, amelyekből összeállnak az egyes nemesgázok, illetve azok izotópjainak össz mennyisége. Ennek megbízhatósága, jósága attól függ, hogy milyen modellt használunk. Az általam használt CE (closed-system equilibration) és SD (solubility-driven) modelleken túl is léteznek egyéb modellek, azonban tapasztalatok és a szakirodalom szerint az általam használt két modell írja le legpontosabban a valóságot. Ahhoz, hogy ezt megerősítsem, laboratóriumban állítottam elő többletlevégő képződési, illetve kigázosodási körülményeket, majd azt vizsgáltam, hogy ezek hogyan befolyásolják az oldott nemesgázok koncentrációit, valamint az ezekből számítható oldódási hőmérsékleteket és a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -korokat. Laboratóriumi vizsgálataim célja volt továbbá a kigázosodási és többletlevégő-képződési modellek létjogosultságának megerősítése a hidrogeológiai kutatások terén.

Tudományos eredmények

1. tézis

Hazai talajvízkészletek utánpótlódásának vizsgálatánál igazoltam a ^3H , mint környezeti izotóp telített közegbeli transzportjának modellezhetőségét, továbbá a ^3H -koncentrációk alkalmazhatóságát vízföldtani modellek kalibrálására.

Ménteleken, Fischerbócsán és Nyíradonyban több szinten szűrőzött kútcsoportoknál a ^3H -csúcs módszernek a transzportmodellezéssel történő kombinációjával rendre 48, 62 és 27 mm/év átlagos utánpótlódást határoztam meg. Ezen értékek a 30 éves Duna-Tisza közti és nyírségi csapadékösszegek átlagaira vetítve Ménteleken 9%, Fischerbócsán 11%, míg Nyíradonyban 4% beszivárgási hányadot jelentenek. A modellszámításaim során a modellezett és a mért adatok között jó egyezéseket találtam, amelyeknek fontos alapjai voltak a földtani modell, a peremfeltételek és a nyomjelzőként alkalmazott ^3H paramétereinek helyes felvétele (2. ábra).

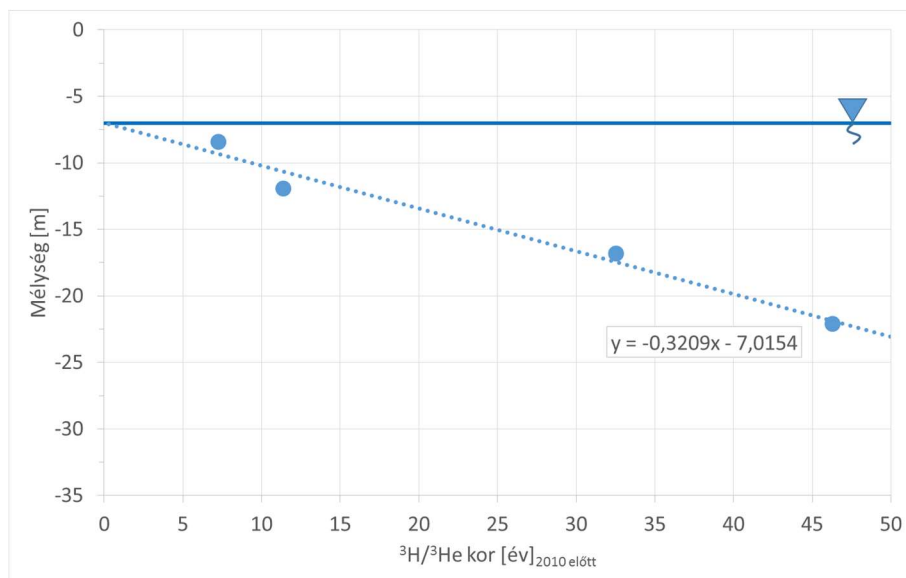


2. ábra A ménteleki mért és modellezett ^3H -koncentrációk 2010-ben és 2014-ben

2. tézis

A ^3H -csúcs módszer és a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -kormeghatározás, mint két, egymástól független eljárás eredményeinek összehasonlításával igazoltam azok együttes alkalmazásának eredményességét.

A ^3H , mint környezeti izotóp alkalmazásánál nem minden esetben kapunk egyértelmű eredményeket a felszín alatti vizek utánpótlódási viszonyaira. Adott ^3H -koncentrációjú víz ugyanis többféle módon is kialakulhat úgy, hogy különböző idő alatt bomlik el a kiindulási ^3H -koncentráció a mért értékre. Egy napjaink csapadékára jellemző vízminta ugyanis nem egyértelműen nagyon fiatal vizet jelöl, megvan a lehetősége annak, hogy egy idősebb, már több felezési időt „megélt” víz koncentrációját mérjük. A ^3H -csúcs módszerrel történt számításaimat nemesgázvizsgálatokkal támasztottam alá, amely során a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok vertikális változása (3. ábra) alapján számított átlagos utánpótlódási mértékek jó egyezést mutattak a ^3H -csúcs módszerrel meghatározottakkal.



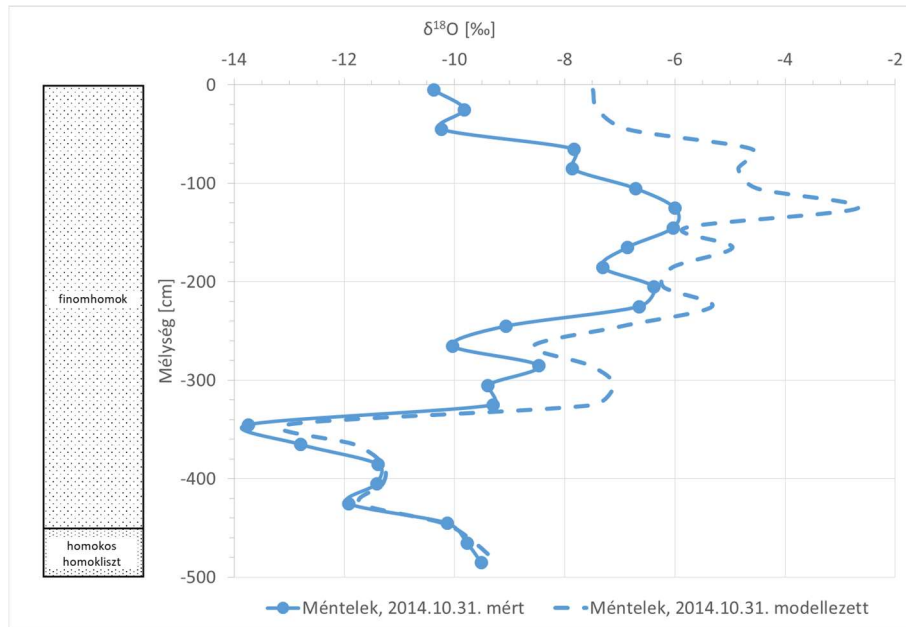
3. ábra A ménteleki kutaknál számított $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorok 2010-ben

3. tézis

Magyarországi talajminták nedvességtartalmának stabil oxigénizotóp arányának ($\delta^{18}\text{O}$) modellezésével meghatároztam a beszivárgott csapadékvíz telítetlen közegbeli tartózkodási idejét, továbbá igazoltam az utánpótlódás szezonálisitását, a téli és nyári félévek csapadékvízviszonyainak dinamikáját.

A téli és a nyári csapadékvíz stabil oxigénizotóp arányainak ($\delta^{18}\text{O}$) szignifikáns eltérése alapján meghatároztam a beszivárgott csapadékvíz telítetlen zónában eltöltött idejét. Azt az időt, amelyet a csapadékvíz a függőleges szivárgása során még a telítetlen zónában tölt el, valamilyen mértékben számításba kell venni a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -módszerrel meghatározott beszivárgási értékek esetében. A $^3\text{H}/^3\text{He}$ -kormeghatározásnál ugyanis azt az időt számítjuk, ami a beszivárgott csapadékvíz talajvíztükröt történő elérése és a vízmintavétel ideje között eltelt. A

talajnedvesség mért és modellezett $\delta^{18}\text{O}$ -profilja Ménteleken 1 év (4. ábra), Fischerbócsán 1,5 év, míg Nyíradonyban 2 év telítetlen közegbeli tartózkodási időt igazolt, emellett jól szemlélteti a beszivárgás dinamikáját is. Ezen tartózkodási idők is bizonyítják a $^3\text{H}/^3\text{He}$ -módszerrel számított vízkorok alapján meghatározott beszivárgási számítások alkalmazhatóságát.



4. ábra A ménteleki mért és modellezett $\delta^{18}\text{O}$ -mélység profil

4. tézis

Mérési adatokkal és azok értékelésével bizonyítottam, hogy korábbi technológia továbbfejlesztésével Nyíradonyban telepített speciális szondakút-csoport alkalmas vertikális izotóp-profil felvételére. A szondakutak kialakítása a hagyományos monitoring kutakhoz képest lényegesen olcsóbb és gyorsabb, telepítésük során meddő nem képződik, a technológia alkalmazása során a környezetterhelés elhanyagolható mértékű.

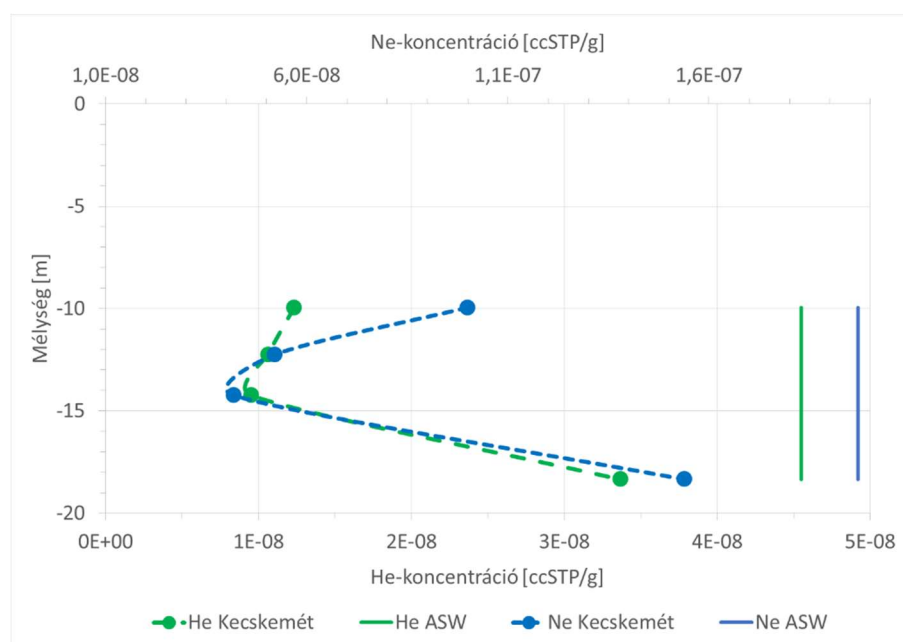
A speciális szondakút-csoport létesítésének előnyei: (1) pontosan kijelölhető a szűrőzésre alkalmas rétegek mélysége, az első lépésként felvett mikro-karotázs szelvény alapján; (2) a kutak egy, folytonos csőből történő kialakításával (csőszakaszok nélkül) biztosítható vált a gyakorlatban több alkalommal is megfigyelhető réteg-összenyitások elkerülése; (3) rendkívül gyors és olcsó, nagyszámú kútból álló kútcsoport kialakítása (Nyíradonyban a 10 kút létesítése két nap alatt megtörtént, karotázs méréssel együtt).

A kutak kialakítása 37 mm átmérőjű acélcső lepréselésével („direct-push”) történt, amelynek alsó végét egy kúp zárja le. Az acélcső lepréselésével párhuzamosan egy 25 mm átmérőjű KPE béléscső folyamatos adagolásával biztosítható volt a szondakút zártsága, míg a 0,5 m hosszúságban beépített szűrőzött szakasz garantálta a vízminta eredetének pontos azonosíthatóságát. A technológiai fejlesztés újdonságértékét a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala 2015-ben Használati mintaoltalmi okirattal ismerte el.

5. tézis

A kecskeméti és debreceni kútcsoportoknál végzett vizsgálataim az első olyan magyarországi nemesgáz-analitikai vizsgálatok, amelyek kapcsán talajvizes rendszerben a modellezéssel nem magyarázható, kiugróan nagy $^3\text{H}/^3\text{He}$ -vízkorbeli különbségeket eredményező kigázosodás jelenségét igazoltam.

A felszín alatti vizekben oldott nemesgázok a földtani közegben igaz ritkábban, de esetenként előforduló gázlencsékbe diffundálnak, ezzel okozva a mintázott felszín alatti vízben gázhiányt, bizonytalanabbá téve így a vízkor-meghatározást. Magyarországi sekély vízföldtani kutatások máig nem említenek gázhiányos talajvizeket, azonban az általam vizsgált kecskeméti és debreceni kutak szinte mindegyikénél kevesebb vízben oldott nemesgázt mértem, mint amennyit várni lehet. A kecskeméti (5. ábra) és a debreceni talajvizes kutak vizeiből nagy biztonsággal megállapítható, hogy a Ne és He nagy része eltávozott a vizsgálati rendszerekből.



5. ábra A kecskeméti kutaknál mért He- és Ne-koncentrációk értékei

6. tézis

Talajvízmintákon végzett nemesgáz-analitikai vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy az alkalmazott módszer a mért He-többleten keresztül alkalmas a mintázott felszín alatti víztartóban a mélységi gázfeláramlást igazolni, továbbá a $^3\text{He}/^4\text{He}$ izotóparány alapján a köpenyi eredetű komponens számítható.

A kéleshalmi kútcsoportnál több He-ot mutattam ki a talajvízes rendszerben, mint amennyi az atmoszférikus levegővel egyensúlyi oldódásban lévő víz (ASW) alapján várható. Értelmezésük során ezek 8,5 és közel 20-szoros He-többletet jelentenek a vizsgált talajvízes rendszerben, de a többi Duna-Tisza közti kútcsoportban mérteknél is nagyságrenddel magasabbak (1. táblázat).

Korábbi hazai vizsgálatok során mélységi vizeknél azonosítottak már nagy mélységből feláramló He-ot, amelynek egy része (hasonlóan a Kéleshalom közelében lévő Jánoshalma térségében is) köpenyi eredetű. Jelen tudományos eredményem azonban az első olyan magyarországi, mérésekkel bizonyított tézis, miszerint ez a feláramlás He-anomáliát okozva a sekély vízföldtani rendszert is eléri. A $^3\text{He}/^4\text{He}$ izotóparány alapján megállapítom, hogy a Dél-Alföldön talajvízes rendszerben 89%-nyi kéregi eredetű He mellett 11%-nyi köpenyi eredetű He is jelen van.

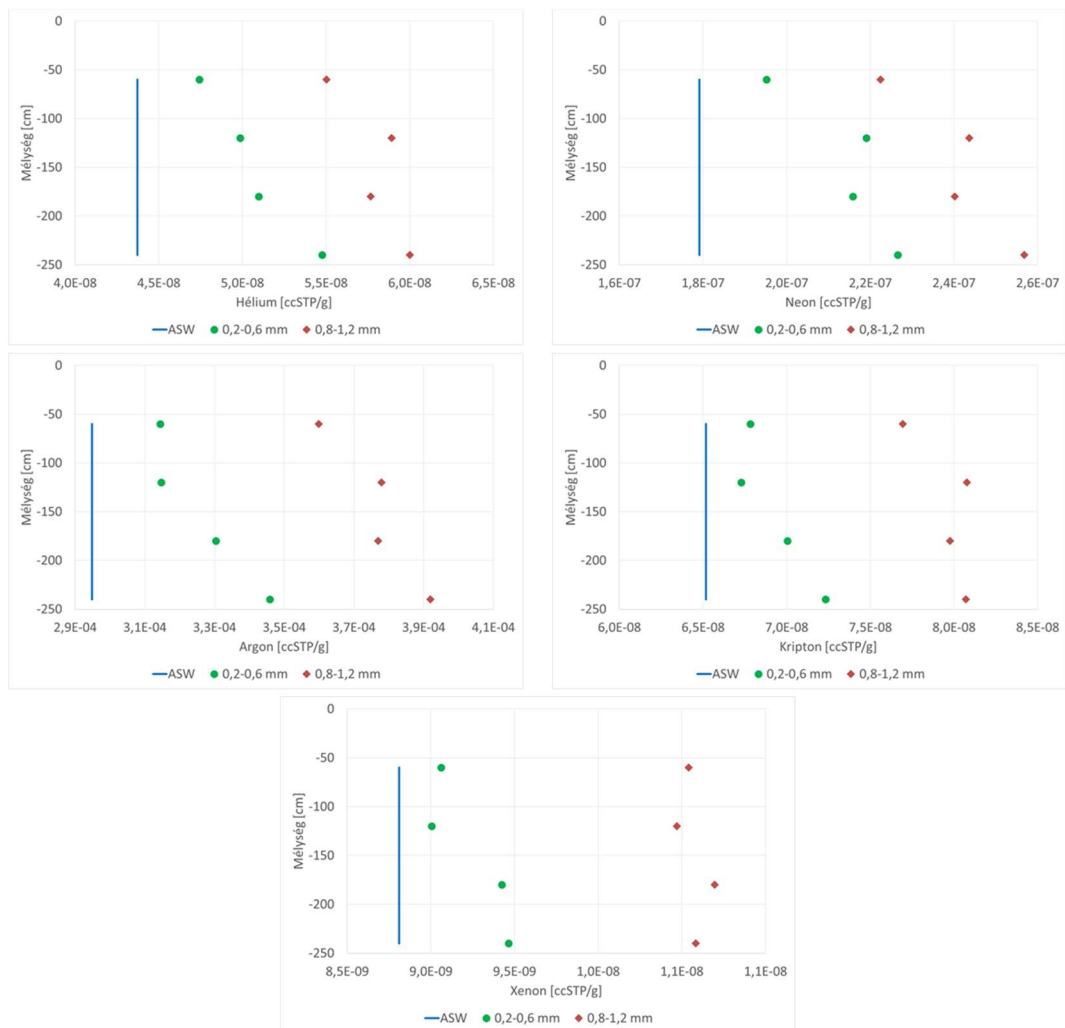
1. táblázat A kéleshalmi kútcsoportnál mért He-többletek demonstrálása

| Kút neve | He (ccSTP/g) | ^3He (ccSTP/g) | R/Ra |
|----------------|--------------|-------------------------|------|
| Méntelek-1 | 4,96E-08 | 7,01E-14 | 1,02 |
| Méntelek-2 | 4,52E-08 | 7,46E-14 | 1,19 |
| Méntelek-3 | 4,38E-08 | 2,52E-13 | 4,15 |
| Méntelek-4 | 5,44E-08 | 2,10E-13 | 2,79 |
| Fischerbócsa-2 | 4,70E-08 | 7,32E-14 | 1,12 |
| Fischerbócsa-3 | 4,52E-08 | 9,77E-14 | 1,56 |
| Fischerbócsa-4 | 3,59E-08 | 1,17E-13 | 2,35 |
| Kéleshalom-3 | 3,87E-07 | 8,06E-13 | 1,50 |
| Kéleshalom-4 | 9,00E-07 | 1,78E-12 | 1,43 |

7. tézis

Laboratóriumi oszlopkísérletekkel bizonyítottam, hogy azon kútcsoportoknál, ahol a vizsgált vízmintákban az egyes nemesgázokból kevesebb van, mint amennyi a vízzel egyensúlyi oldódás következtében várható (és ez befolyásolja a vízkor-meghatározást is), a kigázosodás jelensége, amennyiben pedig több, akkor a többletlevegő képződése áll fenn. Vizsgálataim során igazoltam a CE- és SD-modellek létjogosultságát az izotóphidrogeológiai kutatásoknál, amikor vízkor-meghatározást végzünk, és csupán minimum és maximum vízkorok számíthatóak.

Számos esetben a mintázott felszín alatti víz nemesgáz-koncentrációi alapján nem lehet egyértelmű vízkort számítani, csupán minimum és maximum vízkorokat. Korábbi feltevések helyességének tisztázása érdekében laboratóriumi vizsgálatokkal igazoltam a többletlevegő-képződés (6. ábra) és a kigázosodás jelenségét.



6. ábra A többletlevegő képződésének nemesgáz-analitikai eredményei

Summary

Groundwater resources have growing strategic importance in the Earth's population water supply. Recently about 75% of public water demand has been ensured by groundwater in Europe, while in case of Hungary this value is more than 95%.

The justification of my research topic has been confirmed by the EU Water Framework Directive and the discussion of the Kvassay Jenő Plan. Both of them highlight the groundwater recharge, as one of the most important hydrological element, which has a strategic importance in Hungary. Special isotope hydrogeological researches were carried out via the cooperation of the University of Miskolc and the Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences. The goal of my dissertation was developing innovative methods based on environmental isotopes and transport modeling. Furthermore, I investigated the groundwater recharge on Hungarian research sites (Danube-Tisza Interfluves and Nyírség).

Average recharge rates were determined in case of Méntelek, Fischerbócsa and Nyíradony in the saturated zone. Based on the ^3H -peak method and the transport modelling, I obtained recharge rates of 48 mm/yr, 62 mm/yr and 27 mm/yr, respectively. Using the $^3\text{H}/^3\text{He}$ age distribution, recharge rates of 48 mm/yr, 63 mm/yr and 22 mm/yr could be determined. According to these results the two methods have been confirmed each other. In the unsaturated zone $\delta^{18}\text{O}$ -depth profiling method was used to simulate the unsaturated residence time (12, 18 and 24 month periods, respectively). This method is also suitable to identify the dynamics of the recharge from the winter and also the summer precipitation.

Considering the constantly developing noble gas mass spectrometry, a well-nest installation method was developed to minimize the possibility of the sampling errors and also the environmental impacts. The novelty was granted with Utility Model Protection by the Hungarian Intellectual Property Office.

According to noble gas analyses not just excess air formation, but degassing processes have been found in shallow groundwater bodies up to 20 m depth in Danube-Tisza Interfluves. To study the excess air formation and degassing processes field and laboratory column experiments have been performed. Based on field studies 11% mantle-derived He was found closed to Kéleshalom indicating deep upwelling gases on the Southern Hungarian Great Plain.

Az értekezés témakörében megjelent publikációk és használati mintaoltalom

Kompár, L., Szűcs, P., Palcsu, L., Deák, J. (2012): *Impacts of Climate Change on Groundwater Recharge*. In: ELSEWAS, Landscape and Water. 11th Sanitary Constructions – Small waterworks – Landscape and Water Management Conference. Stará Lesna, Slovakia, Bratislava, Slovak University of Technology, pp. 173-178.

Kompár, L., Szűcs, P., Palcsu, L., Deák, J. (2012): *Determination of natural groundwater recharge with the help of groundwater modeling and tritium field measurements*. Geosciences and Engineering: A publication of the University of Miskolc, Vol. 1, No. 1, pp. 159-165.

Kompár, L., Szűcs, P., Fejes, Z., Palcsu, L., Deák, J. (2012): *Infiltration tests on irrigated agricultural areas*. Geosciences and Engineering: A publication of the University of Miskolc, Vol. 1, No. 2, pp. 99-104.

Kompár, L., Szűcs, P., Palcsu, L., Deák, J., Bernát, M. (2013): *A szélsőséges időjárási viszonyok hatása a felszín alatti vízkészletek utánpótlódási viszonyaira*. IX. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia, Konferencia kiadvány. Miskolc, Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, pp. 420-425.

Kompár, L., Dobos, E., Szűcs, P. (2013): *The Estimation of Natural Groundwater Recharge on the Example of Two Research Sites on the Danube-Tisza Interfluves*. Geosciences and Engineering: A publication of the University of Miskolc, Vol. 2, No. 3, pp. 19-24.

Kompár, L., Szűcs, P., Deák, J., Palcsu, L., Cserny, T., Egyed, J., Gadóczi, M., Ilyés, Cs. (2014): *Izotóphidrogeológiai kutatások a Nyírségben*. Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014. MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Elektronikus Műszaki Füzetek 14, pp. 328-334.

Kompár, L., Szűcs, P., Deák, J., Palcsu, L., Egyed, J., (2014): *Isotope Hydrogeological Researches On Regional Recharge Areas In Hungary*. In: International Association of Hydrogeologists, 41st IAH International Congress "Groundwater: Challenges and Strategies". Abstracts. Marrakesh, Morocco, Paper T7258.

Kompár, L., Szűcs, P., Deák, J., Palcsu, L., Braun, M. (2015): *Sekély víztartók utánpótlódásának meghatározása izotóp-vízkeimiai vizsgálatokkal*. XXII. Konferencia a felszín alatti vizekről, Felszín Alatti Vizekért Alapítvány

Kompár, L., Szűcs, P., Palcsu, L., Braun, M. (2015): *Izotóphidrokémiai komplex módszer alkalmazása talajvizek utánpótlódásának vizsgálatánál.* microCAD 2015, A szekció: XXIX. International Scientific Conference. University of Miskolc, CD kiadvány

Kompár, L., Szűcs, P., Palcsu, L., Deák, J. (2015): *Tritium peak method and $^3\text{H}/^3\text{He}$ dating technique use for estimating shallow groundwater recharge.* microCAD 2015, A szekció: XXIX. International Scientific Conference. University of Miskolc, CD kiadvány

Kompár, L., Osváth, K., Ilyés, Cs., Szűcs, P., Palcsu, L. (2015): *Stabil vízigotópok alkalmazása ásvány- és gyógyvízkészletek utánpótlódásánál a Kárpát-medencében.* 11th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin. Institute of Environmental Management, University of Miskolc, Hungary, CD kiadvány

Madarász, T., Szűcs, P., Kovács, B., Lénárt, L., Fejes, Z., Kolencsik-Tóth, A., Székely, I., Kompár, L., Gombkötő, I. (2015): *Recent trends and activities in hydrogeologic reserach at the University of Miskolc, Hungary.* Central European Geology, Vol. 58, Iss. 1–2, pp. 171–185.

Palcsu, L., Kompár, L., Deák, J., Szűcs, P., Papp, L. (2017): *Estimation of the natural groundwater recharge using tritium-peak and tritium/helium-3 dating techniques in Hungary.* Geochemical Journal, Vol. 51, No. 5, pp. 439-448.

Szucs, P., Kompár L., Palcsu, L., Deák, J. (2012): *Estimation of Groundwater Recharge Change at a Hungarian Test Site Using Environmental Isotope Measurements.* 39th IAH Congress, Niagara Falls, Canada, Paper 447, pp. 1-5.

Szűcs, P., Kompár, L., Palcsu, L., Deák, J. (2015): *Estimation of the groundwater replenishment change at a Hungarian recharge area.* Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 10, No. 4, pp. 227-246.

Deák, J., Fekete, Zs., Kovács, B., Kompár, L., Szűcs, P., Vargay, Z. (2015): *Segédeszköz talajvizek vizsgálatának elvégzéséhez.* Használati Mintaoltalmi Okirat. Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, Budapest. Lajstromszám: 4 555, Ügyszám: U 15 00025