

Doktori (PhD) értekezés tézisei

A BULGÁRIAI LOM-SÜLLYEDÉK ÉS A MAROKKÓI TADLA-MEDENCE FELSZÍN ALATTI VIZEINEK IZOTÓPHIDROLÓGIAI VIZSGÁLATA, PALEOKLIMATOLÓGIAI ÉRTELMEZÉSE

Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**ISOTOPYHYDROLOGICAL INVESTIGATION AND
PALEOCLIMATOLOGICAL INTERPRETATION OF THE
GROUNDWATER FROM THE BULGARIAN LOM DEPRESSION AND
THE TADLA BASIN, MOROCCO**

Túri Marianna

Témavezető: Dr. Rózsa Péter
Dr. Palcsu László



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2022.

1. Bevezetés

Napjainkban egyre égetőbb problémává válik a globális klímaváltozás jelensége, illetve annak hatásai az atmoszférára, bioszférára, az emberi társadalomra és a hidroszférára. A sarkvidéki és szárazföldi jégtakarók olvadásával emelkedik a világtengerek vízszintje, napjainkra rendszeressé váltak a szélsőséges, illetve extrém időjárási jelenségek. A felszíni és a felszín alatti vízkészletek kritikusak a vízellátás, az öntözés és az ipar, valamint az élőlények szempontjából. Ahhoz, hogy megfelelően tudjunk reagálni a klímaváltozás okozta hidrológiai változásokra és a vízkészletek fenntartható hasznosítását biztosítani lehessen, fontos megismerni a rendelkezésünkre álló hidrológiai jellemzőket, folyamatokat, amelyhez elengedhetetlen a múltbéli klíma alakulásának ismerete is.

Nem hagyományosnak vélt klímaarchívum lehet egy felszín alatti vízbázis, amelynek beszivárgása évezredekken át történt, és vízkészlete a mai napig megőrződött. Az elmúlt évtizedekben, a hidrológiában széles körben alkalmazták a felszín alatti vízkészletek nemesgázokon és környezeti izotópokon (^3H , ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) alapuló vizsgálatát (Clark és Fritz, 1997). Ez a többváltozós vizsgálat lehetővé teszi a múltbéli, a víz beszivárgásakor fennálló környezet, elsősorban az akkor uralkodó hőmérséklet rekonstrukcióját (Benson, 1973; Stute és Schlosser, 1993; Kipfer és mtsai., 2002; Aeschbach-Hertig és Solomon, 2013). A nemesgáz vizsgálatok alkalmazásának előnye, hogy inert gázok lévén nem vesznek részt sem kémiai, sem biológiai folyamatokban, illetve egyéb forrásaik számszerűsíthetők (Mazor, 1972). A módszer egzakt fizikai törvényeket használ, ilyen módon a felszín alatti víz nemesgáz-koncentrációja alapján a beszivárgás idején uralkodó - a levegő hőmérsékletével közel egyenlő - átlagos talajhőmérséklet megadható, amelyet nemesgáz-hőmérsékletnek is neveznek (NGT: noble gas temperature). A nemesgáz-hőmérsékletet valamilyen vízkör-meghatározási módszerrel ötvözve megadható a beszivárgás ideje és az egykor uralkodó átlaghőmérséklet (Ingerson és Pearson, 1964; Clark és Fritz, 1997; Kendall és McDonnell, 2012). A felállított paleohőmérsékleti rekonstrukciót érdemes stabilizotóp vizsgálatokkal is kiegészíteni, hiszen a csapadék hidrogénizotóp- és oxigénizotóp-összetétele függ a csapadékképződés helyén uralkodó hőmérséklettől (Rozanski és mtsai., 1993).

2. Célkitűzés

Kutatásom során felszín alatti vízkészletek paleoklimatológiai vizsgálatával foglalkoztam: víztartózkodási időt meghatározó módszerekkel és a vízben oldott nemesgáz-koncentrációk hőmérsékletfüggésén alapuló módszerével két mintaterületen rekonstruáltam a múltbéli hőmérsékleti körülményeket. Célom a bulgáriai Lom-süllyedék és a marokkói Tadla-medence felszín alatti vizeinek nemesgázok és környezeti izotópok (^3H , ^{14}C , ^{13}C , ^{18}O , ^2H) vizsgálata alapján a víztartók izotóphidrológiai jellemzése és paleohőmérsékleti rekonstrukciója volt. Értekezésemben a felszín alatti víz tartózkodási idejének korelációját vizsgáltam trícium, radiokarbon és terrigén eredetű hélium-4 segítségével, valamint a beszivárgás körülményeit, főként a beszivárgás idején uralkodó átlaghőmérsékletet tanulmányoztam nemesgáz-hőmérsékletek alapján. Megvizsgáltam a felállított késő pleisztocén-holocén hőmérsékleti viszonyok mennyire illeszkednek kontinentális szinten az eddigi tanulmányok téziseihez Európában és Afrikában, illetve stabilizotóp-vizsgálatok segítségével egészítettem ki az eddigi nemesgáz-hőmérsékletekkel felállított késő pleisztocén-holocén környezeti rekonstrukciót.

3. Anyag és módszer

3.1. Mintavételi helyek bemutatása

3.1.1. Bulgáriai mintavételi hely

A vizsgált terület északnyugat-Bulgáriában terül el, a Lom folyó vízgyűjtő területének Dunába torkolló szakaszánál, amelyet Lom-süllyedéknek neveznek, és 2500 km²-t fed le. A területen található formációk együttesen egy többszintű víztartó rendszert alkotnak, amelyben öt hidrogeológiai egységet lehet elkülöníteni. Dolgozatomban a következő hidrologiai egységekből vett vízmintákat vizsgáltam: dáciai-román összlet (4 db vízminta), felső-pontusi (7 db vízminta), maeotiani-alsó pontusi (1 db vízminta), szarmata rétegek (2 db vízminta).

3.1.2. Marokkói mintavételi hely

A marokkói Tadla-medence (5000 km²) az ország középső részén terül el egy nagy kiterjedésű szinklinálisban. Az itt lerakódott, többé-kevésbé szabályos transzgressziós-regressziós üledéksorban található az Oum Er-Rabia (OER) hidrogeológiai egység, amely egy többszintes víztartó rendszer. Négy fő víztartó réteg található benne egymás alatt, sorban a következők szerint: miocén-pliocén-negyedkori, maastrichti-eocén, szenón és az általam vizsgált turoni víztartó réteg, amelyből 19 db vízmintát sikerült mintavételezni.

3.2. Analitikai vizsgálatok

A rétegvizek mintázását követő analitikai vizsgálata igen összetett. A fő cél, hogy olyan átfogó izotóphidrologiai képet kapjak a területről, amellyel rekonstruálni lehet az egykor uralkodó paleoklíma-jellemzőket. Az egyes vizsgálati típusok különböző célt szolgálnak: a vízkémiai vizsgálatok (pH-ja, elektromos vezetőképesség, főbb ionok) a víz-közet kölcsönhatások megismerésére, a felszín alatti víz áramlási pályáinak azonosítására; a víz stabilizotóp és nemesgáz eredményei a paleohőmérsékleti jellemzők elemzésére; míg az olyan környezeti radioaktív izotópok, mint a trícium, radiokarbon és a terrigén eredetű hélium a vizek tartózkodási idejének meghatározására alkalmasak.

A bulgáriai és a marokkói vízminták analitikai vizsgálatait az IKER (Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központ, Debrecen) és a CNESTEN (Országos Energiaügyi, Nukleáris Tudományos és Technikai Központ, Marokkó) laboratóriumaiban végeztük el.

4. Kutatási eredmények

4.1. Bulgária

4.1.1. Víztartózkodási idők

1. Tézis: A bulgáriai Lom-süllyedék, felső-pontusi, dáciai-román összlet és szarmata rétegében is található recens beszivárgású víz, bizonyítva ezt a vízminták trícium tartalma és ³H/³He kora. A rétegek vízkészlete folyamatosan megújul, aktív kapcsolatban van a vízciklussal.

A vizsgált rétegek koreloszlásának vizsgálatánál tríciumot alkalmaztam a legfiatalabb vízminták kijelölésére. A legtöbb felszín alatti vízminta tríciumtartalma igen alacsony, illetőleg alacsonyabb, mint 0,02 TU, továbbá van néhány vízminta, amelynél a tríciumtartalom 1,0-6,8 TU között tapasztalható, ez recens beszivárgást jelent. Magasabb értéket a dáciai-román összletből származó Fishfarm (2.) minta mutat 1,23 TU-al, amit a szarmata víztartó Bukovets (12.) mintája követ 0,99 TU-al. A legmagasabb tríciumtartalmat felső-pontusi víztartót

reprezentáló Vasilovtsi (5.) nevű kút vizében lehet találni, ez az érték 6,8 TU, ebben az esetben $^3\text{H}/^3\text{He}$ kora is számoltam, amely 40 év $^3\text{H}/^3\text{He}$ tartózkodási időt adott, ami alapján kiszámolható, hogy a beszivárgás 1976 körül történhetett.

2. Tézis: A bulgáriai Lom-süllyedék területén (a Kárpátok és Balkán hg. közötti Duna menti alföld területén) folyamatos volt a beszivárgás az elmúlt közel 10000-12000 évben.

A vízminták radiokarbon alapú víztartózkodási idejének modellezéséhez Ingerson és Pearson modellt alkalmaztam. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált bolgár vízminták radiokarbon-tartalom alapján számolt víztartózkodási ideje az elmúlt 12000 évet reprezentálja (1. ábra), azaz ebben az időszakban történt beszivárgás a vizsgált területen, illetve olyan léptékű száraz periódus nem tapasztalható, amely hiátust okozna a vízminták koreloszlásában.

A legfiatalabb, recens korú vízminta a felső-pontusi rétegből származó Vasilovtsi (5.) vízminta. Ezenfelül számos minta esetén a beszivárgás a közelmúltban, illetve a késő holocén során, 3000-4000 éve történt: ezek a vízminták a dáciai-román összletből és a maeotiani-alsó pontusi valamint szarmata rétegből származnak. Emellett olyan vízmintákat is vizsgáltam, amelyek tartózkodási ideje 5000 és 6800 év közötti, ezek a felső-pontusi réteget reprezentálják, illetve a kora holocént képviselő 8000-9300 éves mintákat a felső-pontusi rétegből és a dáciai-román összletből. A legnagyobb tartózkodási idővel rendelkező vízminták beszivárgása feltételezhetően a késő pleisztocén során vagy a késő pleisztocén végi és kora holocén átmeneti időszak során történt 10000-12000 éve, ezek a dáciai-román összletből, a felső-pontusi rétegből és a szarmata rétegből származó minták.

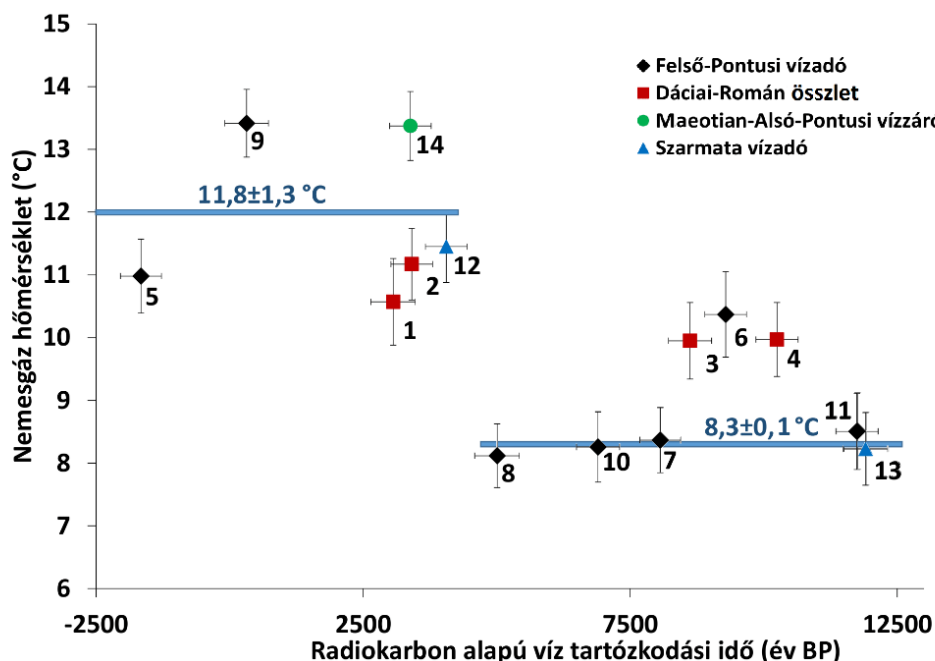
4.1.2. Paleohőmérsékleti rekonstrukció

3. Tézis: Paleohőmérsékleti rekonstrukciók alapján elmondható, hogy a késő-pleisztocén végi és holocén átmeneti időszak között a bulgáriai Lom-süllyedék területén tapasztalt hőmérséklet különbség 3,5-5,2 °C, amely Európa szerte alacsonynak tekinthető.

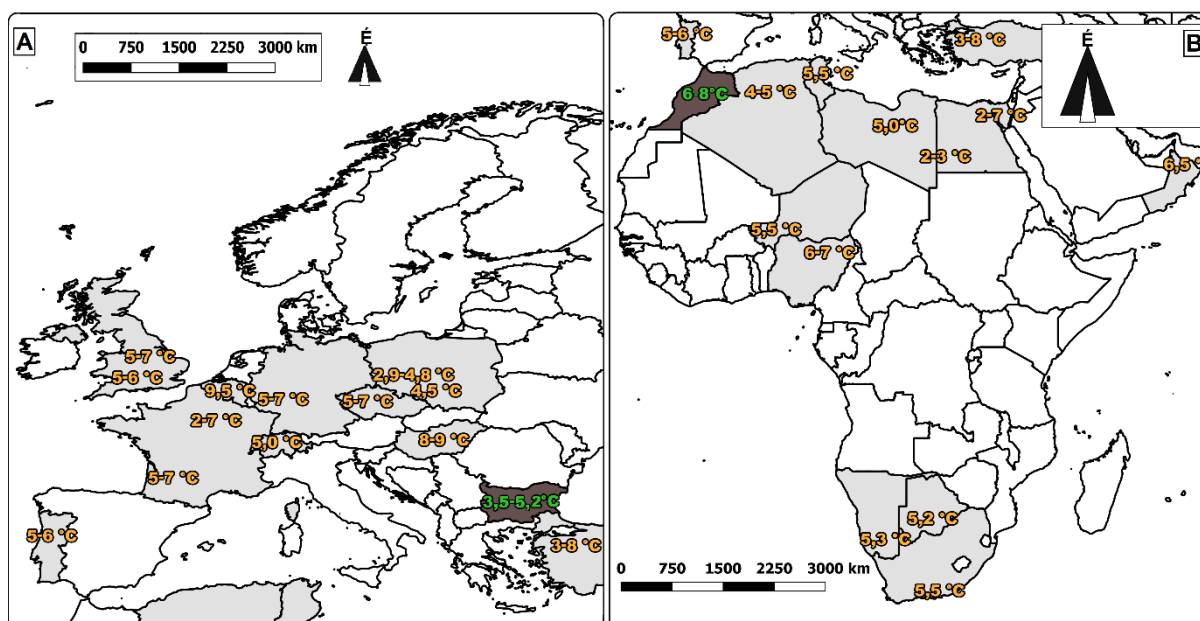
A vízminták nemesgáz-koncentrációk alapján számolt beszivárgási hőmérséklete $8,1 \pm 0,6$ °C és $13,4 \pm 0,5$ °C között változik. Paleoklimatológiai szempontból a hosszú tartózkodási idejű és az alacsonyabb nemesgáz-hőmérsékletű kutak lehetnek fontosak, ezek a Smirnenski (13), Dolni Tsibar (11) és Valchedram (4) kutak, mert beszivárgásuk a késő pleisztocén-holocén átmeneti időszakhoz köthető. A holocén időszakban beszivárgott vízminták átlagos beszivárgási hőmérséklete 11,8 °C, az utóbbi hőmérséklet hasonló a Duna menti alföld éves átlagos hőmérsékletéhez (11,4 °C). A késő holocén korú minták közül a legnagyobb beszivárgási hőmérséklettel rendelkező minták átlagos nemesgáz hőmérséklete $13,4 \pm 0,03$ °C, ezt a hőmérsékletet viszonyítva a legalacsonyabb beszivárgási hőmérsékletekhez, a fent kapott $8,3 \pm 0,1$ °C-hoz, akkor elmondható, hogy a legnagyobb tapasztalt hőmérséklet-különbség 5,2°C. A kapott beszivárgási hőmérsékletek alapján általánosságban elmondható, hogy 3,5-5,2 °C ($4,3 \pm 1,2$ °C) hőmérséklet-különbség tapasztalható késő pleisztocén vége és holocén időszak között a bulgáriai Lom-süllyedék területén (1. ábra).

Ez a hőmérséklet-különbség feltehetően a késő pleisztocén végi és holocén átmeneti időszakot reprezentálja a recens átlaghőmérséklethez képest. Ez a hőmérséklet-különbség Európa szerte alacsonynak tekinthető (2. ábra A), tehát nem valószínű, hogy a pleisztocén során olyan hosszú

ideig permafroszt uralkodott a beszivárgási területeken, hogy ez meggátolta volna a víz rétegekbe történő beszivárgását. A tény, hogy nincs olyan vízminta, amely az utolsó nagy eljegesedést reprezentálja (legidősebb vízminták 10000-12000 éve szivárogtak be), vagy a friss vízzel való keveredés eredménye lehet, vagy a vízminták nem elég idősök és mindössze az átmeneti időszakot tükrözik a holocén és a késő pleisztocén között. Elképzelhető, hogy a mintaterület szűkösége is akadályozhatja az idősebb vizek elemzését, azaz a rétegek vizsgálatát, így az áramlási pályát további kutatásokhoz érdemes lenne kiterjeszteni a jelenlegi vizsgálati területtől északi irányba, Románia területére.



1. ábra: A bulgáriai vízminták nemesgáz-hőmérséklete a radiokarbon alapú tartózkodási idő függvényében



2. ábra: Nemesgáz-hőmérsékletekkel kapott holocén és késő pleisztocén közötti hőmérséklet-különbségek (A): Európában és (B): Afrikában

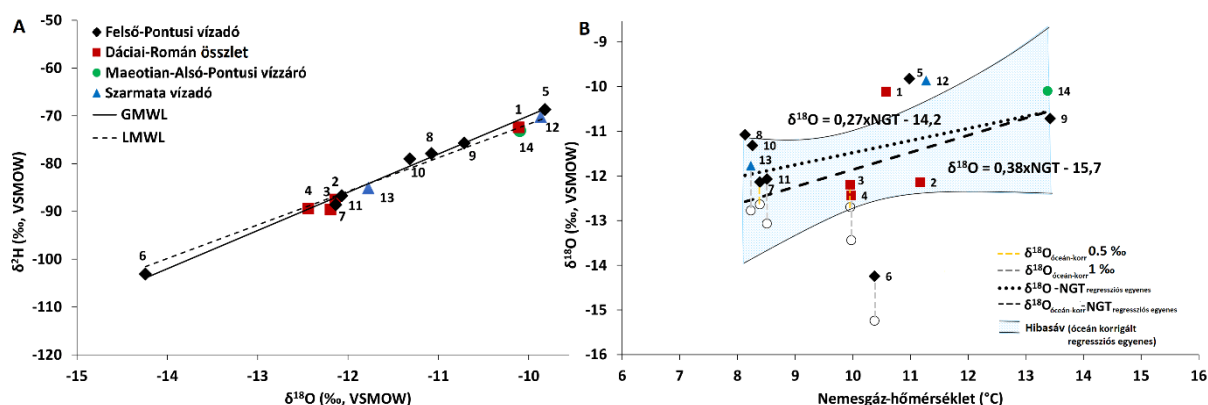
4.1.3. Beszivárgás idején uralkodó környezeti körülmények

4. Tézis: A bulgáriai Lom-süllyedék csapadék eredetű felszín alatti vízkészletének stabil izotóp eredményei a beszivárgás hőmérsékleti körülményeiről ad többlet információt, 1 °C hőmérsékletváltozás 0,38‰ oxigén stabilizotóp-arányváltozást jelent a csapadékban.

A bulgáriai Lom-süllyedék vízmintáinak oxigén és hidrogén stabilizotóp értékei, szorosan illeszkednek a globális csapadékvonalhoz, illetve a közeli Romániában található Ramnicu Valcea (IAEA, GNIP állomás) településen mért csapadék stabilizotóp-aránya segítségével felrajzolt lokális csapadékvonalhoz (3. ábra A). A szoros illeszkedés megerősíti a felszín alatti vizek meteorikus eredetét.

A csapadék oxigén stabilizotóp-aránya és a hőmérséklet közötti lineáris kapcsolat (Dansgaard, 1964) megfigyelhető a bolgár vízmintákon is. Ez az összefüggés hozzájárul a bolgár stabilizotóp paleotermométer lokális kalibrációjához és előtérbe helyezi, hogy a vizsgált felszín alatti vízminták klímainformációt őriznek magukban. A kapott $\delta^{18}\text{O}$ és nemesgáz-hőmérsékletek alapján megállapítható, hogy 1 °C hőmérsékletváltozás $0,27 \pm 0,19$ oxigén stabilizotóp-arány változást jelent a csapadékban.

A jégkorszakok idején a kiterjedt jégtakarók a könnyű izotópokat halmazták fel, így ekkor az óceánok vize gazdagabb volt nehezebb izotópokban, mint a jelenlegi referencia értéknek számító VSMOW, ez a dúsulás a $\delta^{18}\text{O}$ esetében 1.4‰ (Kahn és mtsai., 1981) és 1.1‰ (Adkins és mtsai., 2002) körül lehetett. A Föld átlaghőmérsékletének emelkedésével a jégtakarók visszahúzódtak, és az olvadékvíz visszakerül az óceánokba, amely ezáltal könnyű izotópokban dúsul. A jelenleg alkalmazott VSMOW a 0‰ és a $\delta^{18}\text{O}$ értékek ehhez viszonyítva vannak megadva, de amennyiben feltételezhető, hogy az óceánok vize eltért ettől, akkor érdemes a késő pleisztocén és kora holocén vizek $\delta^{18}\text{O}$ értékét eszerint korrigálni. A Smirnenski (13.), Dolni Tsibar (11.), Agroinvest (6.) és Valchedram (4.) kutak $\delta^{18}\text{O}$ értékeit 1‰-kel, míg a Komoshtitsa pumped (3.) és RUA (7.) $\delta^{18}\text{O}$ értékeit 0.5‰-kel korrigáltam (3. ábra B). Az óceánvíz-korrekcióval kapott $\delta^{18}\text{O}$ értékek segítségével a hőmérséklet függés $0,38 \pm 0,24$ ‰/°C -ot mutat a bulgáriai Lom-süllyedék területén. Ez az érték (0,38‰/°C) jó egyezést ad a recens csapadékeredményekkel a mérsékelt övezetben, a kontinensek belseje irányában 0,30-0,40‰/°C-kal (Rozanski és mtsai., 1993), illetve a magyarországi 0,37‰/°C értékkel is (Vodila és mtsai., 2011).



3. ábra: (A): A bolgár vízminták stabilizotóp értékei és illeszkedésük a lokális (LMWL) és a globális (GMWL) csapadékvonalhoz (B): A bulgáriai vízminták $\delta^{18}\text{O}$ értékei a nemesgáz-hőmérséklet függvényében

4.2. Marokkó

4.2.1. Vízirtartózkodási idők

5. Tézis: A marokkói Tadla-medencében található turoni réteg vízkészlete jelentős frissvíz hozzájárulást kap, amelynek lehetséges forrása a túlzott vízkivitelek miatt a felsőbb, sekélyebb rétegek felszín alatti vízének törésvonalak mentén történő átszivárgása lehet.

A marokkói Tadla-medencében található turoni vízirtartó rétegből származó vízminták közel mindegyike tartalmaz tríciumot 0,5 és 1,9 TU között. Ezek nemcsak a nyílt víztükrű területől származó vízminták, hanem a zárt víztükrű zóna vízmintái is. A trícium jelenléte azért érdekes, mert azok a vízminták, amelyek a zárt víztükrű zónából származnak, feltételezhetően hosszú tartózkodási idővel rendelkeznek (>50 év), és elviekben nem tartalmazhatnak olyan nyomjelzőket (mint pl. a trícium), amelyek a friss víz jelenlétét jelzik. A frissvíz-hozzájárulás egyik lehetséges forrása a felsőbb, sekélyebb rétegek felszín alatti vízének törésvonalak mentén történő átszivárgása lehet. Az átszivárgást a turoni vízirtartó réteg túlzott vízkivétele okozhatja, amely lokális vízszint-depressziót idéz elő.

6. Tézis: A marokkói Tadla-medence turoni vízirtartó rétegének feltöltődési időszaka napjainktól egészen a késő pleisztocén időszakig nyúlik vissza.

A marokkói Tadla-medence turoni vízirtartó rétegből származó vízminták radiokarbon alapú vízirtartózkodási idejét Ingerson és Pearson modellel számoltam ki, amelyet a trícium jelenléte alapján frissvíz-hozzájárulási aránnyal egészítettem ki. A kapott tartózkodási idők alapján megállapítható, hogy a turoni réteg felszínre bukkanásánál és környékén recens beszivárgású vizek találhatóak, ettől a beszivárgási területtől távolodva pedig egyre idősebb vizekkel találkozhatunk, melyek olyan holocén korú minták, amelyek tartózkodási ideje 1000-7000 év. A legidősebb vízminták beszivárgása 9500-15000 évvel, de akár 24000 évvel ezelőttre is tehető és ezek a vízminták képviselik a késő pleisztocént.

A marokkói vízminták radiokarbon alapú modellezéssel kapott tartózkodási idejének kiegészítésére a terrigén eredetű ^4He akkumulációt alkalmaztam, annak érdekében, hogy egyértelműen el lehessen különíteni a késő pleisztocén és a holocén során beszivárgott vizeket egymástól. Bizonyos kutaknál megfigyelhető egy $^4\text{He}_{\text{terr}}$ növekedési trend, amely lineárisan nő a tartózkodási idővel, ezért egy általam meghatározott terrigén eredetű ^4He mennyiségi érték alapján két csoportot különítettem el. Az egyik a fiatal holocén csoport, a másik a késő pleisztocén csoport.

4.2. 2. Paleohőmérsékleti rekonstrukció

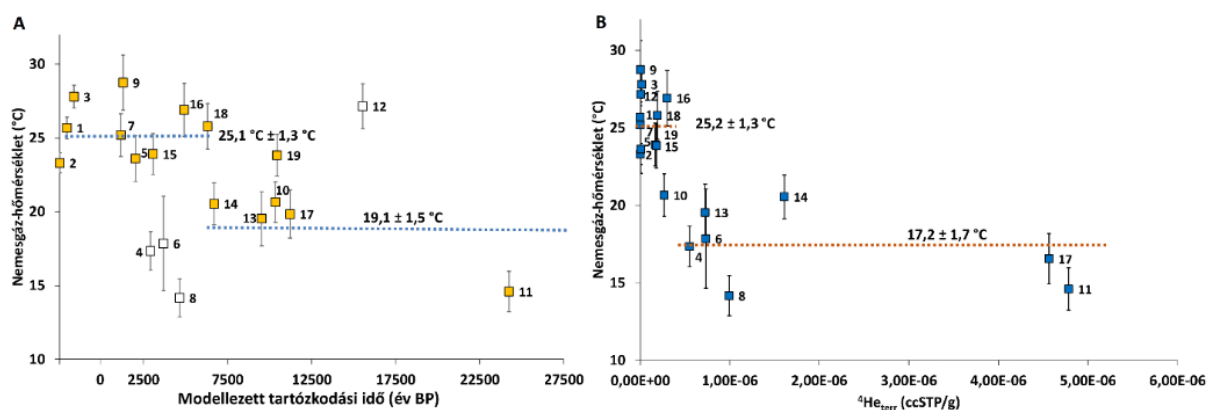
7. Tézis: A Tadla-medence területén tapasztalt legnagyobb hőmérsékletkülönbség a késő pleisztocén és holocén között $8,0 \pm 2,1$ °C, amely kontinentális szinten magasnak tekinthető.

A radiokarbon alapú tartózkodási időket tekintve a recens és 7000 év közötti holocén korú minták átlag beszivárgási hőmérséklete $25,1 \pm 1,3$ °C, míg a 9500 és 24000 év közötti késő pleisztocén beszivárgású minták átlag beszivárgási hőmérséklete $19,1 \pm 1,5$ °C (4. ábra A). A $^4\text{He}_{\text{terr}}$ alapú korszakosítás nélkül sok minta a kora holocént képviseli, ám a vizek beszivárgási hőmérséklete a maihoz, illetve a késő és közép holocén hőmérsékleti viszonyaihoz képest hűvösebb klíma periódust mutat. A hidegebb beszivárgási hőmérséklet a párolgás miatt fellépő adiabatikus lehűléssel is magyarázható, amely paleoklimatológiai értelemben talajhőmérsékleti változásként értelmezhető a kora és közép holocén során a „zöld Szahara” periódusban. A

vízminták radiokarbon koradatainak terrigén eredetű ^4He alapú szétválasztásával elkülönítettem egymástól az idősebb (és hidegebb), illetve fiatalabb (és melegebb) vízmintákat egymástól. Azokat a mintákat, amelyekben a $^4\text{He}_{\text{terr}}$ tartalom 5×10^{-7} ccSTP/g alatt van, holocén korúnak, míg az e fölöttieket késő pleisztocén korú mintáknak tekintettem. Ez alapján a holocén idején beszivárgott vízminták átlag nemesgáz-hőmérséklete $25,2 \pm 1,3$ °C, a késő pleisztocén során beszivárgott vízminták átlag nemes gáz-hőmérséklete pedig $17,2 \pm 1,7$ °C (4. ábra B). Így a legalacsonyabb nemesgáz-hőmérséklettel ($14,2$ °C és $14,6$ °C) rendelkező vízminták is egyértelműen glaciális időszak alatt beszivárgott mintának tekinthetők.

Összegezve a vízminták radiokarbon kormeghatározása alapján az átlagos hőmérséklet-különbség a két korszak között (késő pleisztocén-holocén) $6,0 \pm 1,9$ °C, míg a $^4\text{He}_{\text{terr}}$ tartalom alapú korcsoportosítás után $8,0 \pm 2,1$ °C.

Nemesgáz-hőmérsékletek alapján több kutatás is megerősítette a múltbeli kontinentális éghajlati változásokat Afrikában és a környező régiókban és általánosságban elmondható, hogy $4-7$ °C hőmérséklet-különbséget figyeltek meg kontinensszerte a késő pleisztocén és holocén időszerkekre vonatkozóan (2. ábra B). A dolgozatomban bemutatott eredményeim alapján elmondható, hogy kontinentális szinten a legnagyobb hőmérséklet-különbség $8,0 \pm 2,1$ °C-kal a marokkói Tadla-medencében figyelhető meg. Ezek a hőmérséklet-különbségek alátámasztják azt a hipotézist, amely szerint hidegebb klíma uralkodott a késő pleisztocén során Marokkó és környékének területén. A késő pleisztocén korú vizek jelenléte a turoni víztartóban önmagában feltételezi, hogy ezen időszak során is volt beszivárgás, ami egy hideg és nedves klímára enged következtetni a Tadla-medencében és környékén.



4. ábra: (A): Nemesgáz-hőmérséklet az Ingerson és Pearson féle radiokarbon alapú modellezéssel kapott víztartózkodási idők függvényében; (B): Nemesgáz-hőmérséklet a terrigén eredetű hélium függvényében ábrázolva

4.3.2. Beszivárgás idején uralkodó környezeti körülmények

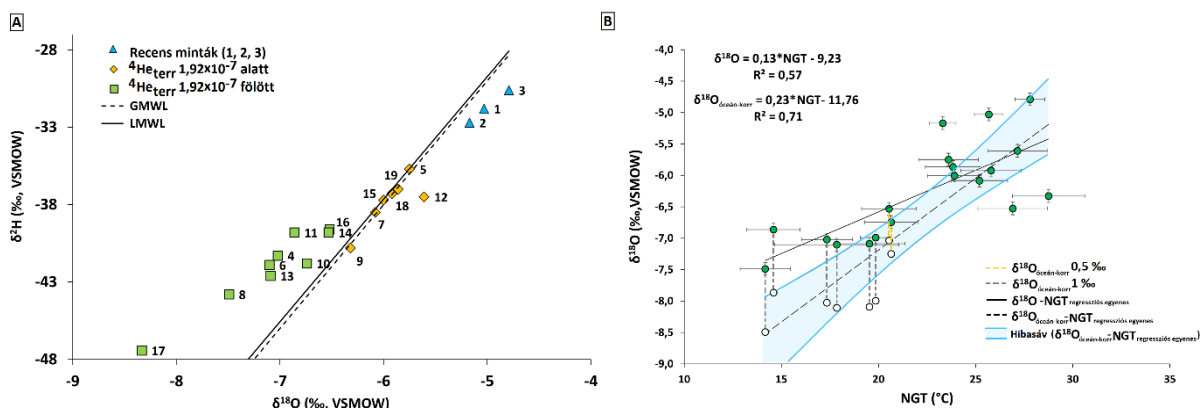
8. Tézis: A késő pleisztocén során hűvösebb klíma uralkodott a Tadla-medence területén, és ekkor sok eső esett, inkább szakaszosan, aminek jelentős része alacsony relatív páratartalom mellett hullott. A holocénre mindez „normalizálódott”, azaz hasonló lett a globális trendhez, ugyanakkor a legfiatalabb vízmintáknál már a bepárlódás jellege látszódik. A stabil izotóp eredmények a beszivárgás hőmérsékleti körülményeiről ad többlet információt, 1 °C hőmérsékletváltozás $0,23\%$ oxigén stabilizotóp-arányváltozást jelent a csapadékban.

A turoni vízminták stabilizotóp-eredményei közel esnek a globális és lokális csapadékvonalhoz, ez a meteorikus eredetet is megerősíti, noha a recens vizek értékei a vízvonal alatt, míg a legidősebb vizek értékei a vízvonal felett helyezkednek el. A stabilizotóp-eredményeknek a

csapadékvonalhoz való illeszkedését megfigyelve a $^4\text{He}_{\text{terr}}$ tartalom alapján egyértelműen el lehet különíteni fiatal és idős vizeket (5. ábra A). A holocén értékeknél negatívabb stabilizotóp-arányok is alátámasztják azt a feltételezést, miszerint hűvösebb klíma uralkodott a késő pleisztocén során a Tadmor-medencében.

Feltehetőleg nagy esőzések voltak a késő pleisztocén során, és egy-egy eső alkalmával egyszerre nagy mennyiségű csapadék hullott, ami olyan légtömegből esett, aminek egy része Clark és Fritz szerint (1997) elsősorban a környéki szárazföldi visszapárolgásból származik ezért deutériumtöbblet alakul ki. A lehulló csapadék valószínűleg alacsony relatív páratartalom mellett hullott, ekkor a kinetikus frakcionáció magas és a vízpára nehézizotóp-tartalma erősen csökken (a ^{18}O és ^2H eltérő mértékben csökken), ezáltal az ebből a víztömegből lehulló csapadék izotóparánya a csapadékvonal fölé esik. Az egy-egy eső alkalmával hullott, helyesebben az esemény alapú nagy esőzéseket a neontöbblet támasztja alá. Egyértelmű korreláció van a deutériumtöbblet és a neontöbblet között, ugyanis a heves esőzések nagyobb vízszint ingadozáshoz vezetnek és ennél fogva nagyobb többlet levegő (így neon többlet) alakul ki, köszönhetően a csapadékos levegőre ható megnövekedett hidrosztatikus nyomásnak a kvázi telítetlen zónában (Stute és Talma, 1998; Beyerle és mtsai., 2003). Többek között a deutériumtöbblet és a nemesgáz-hőmérséklet között igen erős korreláció állapítható meg, így feltételezhetően a késő pleisztocén, illetve a kora és közép holocén során a marokói Tadmor-medence éghajlatát hűvösebb klíma és igen heves esőzések jelezték.

A vízminták $\delta^{18}\text{O}$ értékei és a hőmérséklet közötti lineáris kapcsolat a marokói vízminták esetében is kimutatható, ugyanis alacsonyabb $\delta^{18}\text{O}$ értékekhez alacsonyabb nemesgáz-hőmérsékletek társulnak, illetve fordítva. Ez a kapcsolat számszerűsítve $0,13 \pm 0,038 \text{ ‰/ } ^\circ\text{C}$ -t jelent, ugyanakkor a bolgár mintákhoz hasonlóan itt is korrigálni érdemes a késő pleisztocén idején beszivárgott vízminták stabilizotóp-arányát az egykori óceán stabilizotóp-arányának megfelelően (5. ábra B). A hosszabb tartózkodási idővel rendelkező 4., 6., 8., 11., 13., 17. kutak $\delta^{18}\text{O}$ értékeit 1‰-kel, míg a valamivel rövidebb tartózkodási idővel rendelkező 10. és 14. kutak $\delta^{18}\text{O}$ értékeit 0,5‰-kel korrigáltam. Korrekciók után az oxigén stabilizotóp és a hőmérséklet kapcsolata $0,23 \pm 0,036 \text{ ‰/ } ^\circ\text{C}$ -re változik. Mindkét érték közelít ($0,13$ és $0,23 \text{ ‰/ } ^\circ\text{C}$) a tengeri-óceáni területek állomásai által regisztrált recens csapadék $\delta^{18}\text{O}$ -hőmérséklet függéséhez $0,17 \text{ ‰/ } ^\circ\text{C}$ (Clark és Fritz, 1997), vagy a gibraltári állomás adataihoz $<0,5 \text{ ‰/ } ^\circ\text{C}$ (Vystavna és mtsai. 2021).



5. ábra: (A) marokkói vízminták $\delta^2\text{H}$ értékeinek ábrázolása az $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek függvényében (a jelölők a $^4\text{He}_{\text{terr}}$ mennyiségi csoportosítása alapján vannak színezve és formázva) (B) A marokkói vízminták neontöbbletének ábrázolása a deutériumtöbblet függvényében

Irodalom jegyzék

- Adkins J.F., McIntyre K., Schrag D.P. 2002. The salinity, temperature, and $\delta^{18}\text{O}$ of the glacial deep ocean. *Science*, 298 (5599), 1769-1773.
- Aeschbach-Hertig W., Beyerle U., Holocher J., Peeters F., Kipfer R. 2002. Excess air in groundwater as a potential indicator of past environmental changes. In *Study of Environmental Change using Isotope Techniques*. IAEA, Vienna, pp. 174–183.
- Benson B. B. 1973. Noble gas concentration ratios as paleotemperature indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37 p. 1391–1395.
- Beyerle U., Purtschert R., Aeschbach-Hertig W., Imboden D. M., Loosli H. H., Wieler R., Kipfer, R. 1998. Climate and groundwater recharge during the last glaciation in an ice-covered region. *Science*, 282(5389), 731-734.
- Clark I. D., Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Chapter 3: Precipitation, CRC press. 63-77, <https://doi.org/10.1201/9781482242911>.
- Ingerson, E., Pearson, F. J. 1964. Estimation of age and rate of motion of groundwater by the ^{14}C -method. Recent researches in the fields of atmosphere, hydrosphere and nuclear geochemistry, 263-283.
- Kahn M. I., Oba T., Ku, T. L. 1981. Paleotemperatures and the glacially induced changes in the oxygen-isotope composition of sea water during late Pleistocene and Holocene time in Tanner Basin, California. *Geology*, 9(10) 485-490.
- Kendall C., McDonnell J. J. (Eds.). 2012. Isotope tracers in catchment hydrology. Elsevier. pp.51-57.
- Kipfer R., Aeschbach-Hertig W., Peeters F., Stute, M. 2002. Noble gases in lakes and ground waters. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 47(1), 615-700.
- Mazor E. 1972. Paleotemperatures and other hydrological parameters deduced from gases dissolved inground waters, Jordan Rift Valley, Israel. *Geochem Cosmochim Acta* 36:1321-1336.
- Rozanski K. 1985. Deuterium and oxygen-18 in European groundwaters—links to atmospheric circulation in the past. *Chemical Geology*, 52(3-4), 349-363.
- Stute M., Schlosser P. 1993. Principles and applications of the noble gas paleothermometer. *GMS*, 78, 89-100.
- Stute M., Talma A. S. 1998. Glacial temperatures and moisture transport regimes reconstructed from noble gases and $\delta^{18}\text{O}$, Stampriet Aquifer, Namibia. In *Isotope techniques in the study of environmental change*. IAEA, 1998, 307-318.
- Vodila G., Palcsu L., Futó I., Szántó Zs. 2011. A 9-year record of stable isotope ratios of precipitation in Eastern Hungary: implications on isotope hydrology and regional palaeoclimatology. *Journal of Hydrology* 400, 144-153.
- Vystavna Y., Matiatos I., Wassenaar L. I. 2021. Temperature and precipitation effects on the isotopic composition of global precipitation reveal long-term climate dynamics. *Scientific reports*, 11(1), 1-9.



Nyilvántartási szám: DEENK/405/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Túri Marianna
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10056734

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Túri, M.**, Saadi, R., Marah, H., Temovski, M., Molnár, M., Palcsu, L.: Paleotemperature reconstruction using environmental isotopes and noble gases in groundwater in Morocco. *Hydrogeol. J.* 28, 973-986, 2020. ISSN: 1431-2174.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-020-02121-1>
IF: 3.178
2. **Túri, M.**, Molnár, M., Orehova, T., Toteva, A., Hristov, V., Benderev, A., Horváth, A., Palcsu, L.: Tracing groundwater recharge conditions based on environmental isotopes and noble gases, Lom depression, Bulgaria. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 24, 1-15, 2019. ISSN: 2214-5818.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100611>
IF: 3.645

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

3. **Túri, M.**: A Sebes-Körös artéri feltöltődésének vizsgálata. *Szakkoll. tanulm.(Hatvani István Szakkoll. DE TEK).* 2, 200-212, 2013. ISSN: 2063-6059.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (16)

4. Miller, J. A., Turner, K. B., Watson, A., van Rooyen, J., Molnár, M., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Characterization of groundwater types and residence times in the Verlorenvlei catchment, South Africa to constrain recharge dynamics and hydrological resilience. *J. Hydrol. [Epub]*, 1-44, 2022. ISSN: 0022-1694.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128280>
IF: 6.708 (2021)





5. Temovski, M., Rinyu, L., Futó, I., Molnár, K., **Túri, M.**, Demény, A., Otoničar, B., Dublyansky, Y., Audra, P., Polyak, V., Asmerom, Y., Palcsu, L.: Combined use of conventional and clumped carbonate stable isotopes to identify hydrothermal isotopic alteration in cave walls. *Sci. Rep.* 12 (1), 1-17, 2022. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-12929-4>
IF: 4.996 (2021)
6. Puskás-Preszner, A., Orosz, A., Kompár, L., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Isotopic tracing and quantitative assessment of rainwater in a separate sewer system in Tiszavasvári, Hungary. *Results in Engineering.* 2022 (13), 1-7, 2022. ISSN: 2590-1230.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100360>
7. **Túri, M.**, Hubay, K., Molnár, M., Braun, M., László, E., Futó, I., Palcsu, L.: Holocene paleoclimate inferred from stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) values in Sphagnum cellulose, Mohos peat bog, Romania. *J. Paleolimn.* 66, 229-248, 2021. ISSN: 0921-2728.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-021-00202-z>
IF: 2.265
8. Palcsu, L., Gessert, A., **Túri, M.**, Kovács, A., Futó, I., Orsovski, J., Puskás-Preszner, A., Temovski, M., Koltai, G.: Long-term time series of environmental tracers reveal recharge and discharge conditions in shallow karst aquifers in Hungary and Slovakia. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 36, 1-12, 2021. ISSN: 2214-5818.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100858>
IF: 5.437
9. Temovski, M., **Túri, M.**, Futó, I., Braun, M., Molnár, M., Palcsu, L.: Multi-method geochemical characterization of groundwater from a hypogene karst system. *Hydrogeol. J.* 29, 1129-1152, 2021. ISSN: 1431-2174.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-020-02293-w>
IF: 3.151
10. Major, I., Dani, J., Kiss, V., Melis, E., Patay, R., Szabó, G., Hubay, K., **Túri, M.**, Futó, I., Huszánk, R., Jull, A. J. T., Molnár, M.: Adoption and evaluation of a sample pre-treatment protocol for radiocarbon dating of cremated bones at HEKAL. *Radiocarbon.* 61 (1), 159-171, 2019. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.41>
IF: 1.975
11. Major, I., Gyökös, B., **Túri, M.**, Futó, I., Filep, Á., Hoffer, A., Furu, E., Jull, A. J. T., Molnár, M.: Evaluation of an automated EA-IRMS method for total carbon analysis of atmospheric aerosol at HEKAL. *J. Atmos. Chem.* 75 (1), 85-96, 2018. ISSN: 0167-7764.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10874-017-9363-y>
IF: 1.783





12. Hubay, K., Braun, M., Harangi, S., Palcsu, L., **Túri, M.**, Jull, A. J. T., Molnár, M.: High-Resolution Peat Core Chronology Covering the Last 12 KYR Applying an Improved Peat Bog Sampling. *Radiocarbon*. 60 (05), 1367-1378, 2018. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.113>
IF: 1.531
13. Hubay, K., Braun, M., Buczkó, K., Pál, I., Veres, D., **Túri, M.**, Biró, T., Magyari, E.: Holocene environmental changes as recorded in the geochemistry of glacial lake sediments from Retezat Mountains, South Carpathians. *Quat. Int.* 477, 19-39, 2018. ISSN: 1040-6182.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2018.02.024>
IF: 1.952
14. Szabó, T., Janovics, R., **Túri, M.**, Futó, I., Papp, I., Braun, M., Németh, K., Szekeres, G. P., Kinka, A., Szabó, A., Hernádi, K., Hajdu, K., Nagy, L., Rinyu, L.: Isotope Analytical Characterization of Carbon-Based Nanocomposites. *Radiocarbon*. 60 (04), 1101-1114, 2018. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.63>
IF: 1.531
15. Palcsu, L., Morgenstern, U., Sültenfuss, J., Koltai, G., László, E., Temovski, M., Major, Z., T. Nagy, J., Papp, L., Varlam, C., Faurescu, I., **Túri, M.**, Rinyu, L., Czippon, G., Bottyán, E., Jull, A. J. T.: Modulation of Cosmogenic Tritium in Meteoric Precipitation by the 11-year Cycle of Solar Magnetic Field Activity. *Sci Rep*. 8 (1), 1-9, 2018. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-31208-9>
IF: 4.011
16. Temovski, M., Futó, I., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Sulfur and oxygen isotopes in the gypsum deposits of the Provalata sulfuric acid cave (Macedonia). *Geomorphology*. 315, 80-90, 2018. ISSN: 0169-555X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.010>
IF: 3.681
17. Saadi, R., **Túri, M.**, Palcsu, L., Marah, H., Hakam, O. K., Rinyu, L., Molnár, M., Futó, I.: A potential groundwater aquifer for palaeoclimate reconstruction: Turonian aquifer, Tadia basin, Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 132, 64-71, 2017. ISSN: 1464-343X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.021>
IF: 1.532
18. **Túri, M.**, Palcsu, L., Papp, L., Horváth, A., Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L., Janovics, R., Braun, M., Hubay, K., Kis, B. M., Koltai, G.: Isotope Characteristics of the water and sediment in volcanic lake Saint Ana, East-Carpathians, Romania. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.* 11 (2), 475-484, 2016. ISSN: 1842-4090.
IF: 0.88





19. Kéri, M., Palcsu, L., **Túri, M.**, Heim, E., Czébely, A., Novák, L., Bányai, I.: ¹³C NMR analysis of cellulose samples from different preparation methods.
Cellulose. 22 (4), 2211-2220, 2015. ISSN: 0969-0239.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-015-0642-y>
IF: 3.195

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

20. Csoma, V., Tóth, E., Szurominé Korecz, A., Magyar, I., Rinyu, L., **Túri, M.**: Adatok a Pannon-tó fejlődéstörténetéhez: kagylósrák-vizsgálatok a Dél-Dunántúlról.
In: 22. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés : program, előadáskivonatok. Szerk.: Virág Attila, Bosnakoff Mariann, Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 10-11, 2019. ISBN: 9789638221759

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (11)

21. Palcsu, L., **Túri, M.**, Futó, I., Kovács, J., Szabó, P., Orsovski, J., Temovski, M., Rinyu, L.: Local temperature calibration of carbonate-water oxygen isotope fractionation and clumped isotopes (δ^{47}) in a karstic freshwater limestone environment.
Geophys. Res. Abstr. 21, 8493, 2019. ISSN: 1029-7006.
22. Kiss, G. I., **Túri, M.**, Futó, I., Kovács, J., Szabó, P., Palcsu, L.: Oxygen isotope ratio measurements on bioapatite samples prepared from mammal tissues: method development at ICER Centre.
Geophys. Res. Abstr. 21, 8626, 2019. ISSN: 1029-7006.
23. **Túri, M.**, Palcsu, L., Rinyu, L.: Status report of the new carbonate clumped laboratory of Isotope Climatology and Environmental Research Center (ICER), Debrecen, Hungary.
Geophys. Res. Abstr. 21 (EGU2019-9448), 9448, 2019. ISSN: 1029-7006.
24. Csige, I., Futó, I., Janovics, R., Molnár, M., Rinyu, L., Palcsu, L., Major, I., **Túri, M.**, Sóki, E., Molnár, J.: Estimation of Uptake Rate of Carbon Dioxide Through the Skin by Measurement of Carbon Isotope Ratio of Exhaled Air.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 123-124, 2017. ISBN: 9789730245035
25. **Túri, M.**, Palcsu, L., Molnár, M., Futó, I., Orehova, T., Toteva, A., Hristov, V., Benderev, A.: Finding palaeowaters in a multi-layered aquifer system in the Lom depression of Danubian Plain in Bulgaria.
Geophys. Res. Abstr. 2017 (19), EGU2017-16573, 2017. ISSN: 1029-7006.





26. Palcsu, L., **Túri, M.**, Saadi, R., Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L., Hakam, O. K., Marah, H.:
Palaeoclimate Reconstruction Based on Noble Gas Recharge Temperatures: Turonian
Aquifer, Tadla Basin, Morocco.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of
Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for
Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 33, 2017. ISBN:
9789730245035
27. Palcsu, L., László, E., Kiss, G. I., Futó, I., **Túri, M.**, Temovski, M., Cheng, H.: Preliminary Results
of a Stalagmite Palaeoclimate Record Covering the Transition of the Last Interglacial/Glacial
Period.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of
Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for
Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 103, 2017. ISBN:
9789730245035
28. Saaadi, R., Palcsu, L., Marah, H., **Túri, M.**, Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L.: A potential
groundwater aquifer for palaeoclimate reconstruction: Turonian Aquifer, Tadla Basin,
Morocco.
Geophys. Res. Abstr. 2016 (18), EGU2016-11946, 2016. ISSN: 1029-7006.
29. **Túri, M.**, Palcsu, L., Futó, I., Hubay, K., Molnár, M., Rinyu, L., Braun, M.: Preliminary stable
isotope results from the Mohos peat bog, East-Carpathians.
Geophys. Res. Abstr. 2016 (18), EGU2016-6407, 2016. ISSN: 1029-7006.
30. Major, I., Gyökös, B., **Túri, M.**, Futó, I., Filep, Á., Hoffer, A., Molnár, M.: Testing of an automated
online EA-IRMS method for fast and simultaneous carbon content and stable isotope
measurement of aerosol samples.
Geophys. Res. Abstr. 18 (1), 3843, 2016. EISSN: 1607-7962.
31. Hubay, K., Braun, M., Harangi, S., Palcsu, L., **Túri, M.**, Rinyu, L., Molnár, M.: Radiocarbon dating
of Sphagnum cellulose from Mohos peat bog, East Carpathians.
Geophys. Res. Abstr. 2015 (17), EGU2015-10813, 2015. ISSN: 1029-7006.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 51,451

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
6,823**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai
ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján
elvégezte.

Debrecen, 2022.08.30.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**ISOTOPYHYDROLOGICAL INVESTIGATION AND
PALEOCLIMATOLOGICAL INTERPRETATION OF THE
GROUNDWATER FROM THE BULGARIAN LOM DEPRESSION AND
THE TADLA BASIN, MOROCCO**

Marianna Túri

Supervisors: Dr. Péter Rózsa
Dr. László Palcsu



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Earth Sciences
Debrecen, 2022.

1. Introduction

Today, the phenomenon of global climate change and its effects on the atmosphere, biosphere, human society and the hydrosphere are becoming an increasingly pressing problem. The melting of Arctic and land ice sheets is raising the water levels of the world's oceans and extreme and extreme weather events have become a regular occurrence. Surface and groundwater resources are critical for water supply, irrigation and industry, as well as for living organisms. In order to respond adequately to hydrological changes caused by climate change and to ensure the sustainability use of water resources, it is important to understand the hydrological characteristics and processes available to us, including knowledge of past climate patterns.

An unconventional climate archive may be groundwater (aquifer) that has been infiltrated over thousands of years and whose water resources have been preserved to the present day. In the last decades, groundwater resources have been extensively studied in hydrology based on noble gases and environmental isotopes (^3H , ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) (Clark and Fritz, 1997). This multivariate study allows reconstruction of the past environment, especially the temperature at the time of recharge (Benson, 1973; Stute and Schlosser, 1993; Kipfer et al., 2002; Aeschbach-Hertig and Solomon, 2013). The advantage of using noble gas studies is that they are inert gases, do not participate in chemical or biological processes, and their other sources can be quantified (Mazor, 1972). The method uses exact physical laws to determine the average ground temperature at the time of infiltration, which is close to the air temperature, based on the noble gas concentration in groundwater, also known as the noble gas temperature (NGT). The noble gas temperature can be combined with some water-age method to give the recharge time and the average temperature at that time (Ingerson and Pearson, 1964; Clark and Fritz, 1997; Kendall and McDonnell, 2012). The paleotemperature reconstruction that has been complemented by stable isotope studies, since the hydrogen and oxygen isotope composition of precipitation depends on the temperature at the site of precipitation (Rozanski et al., 1993).

2. Objective

My research has focused on the paleoclimatology of groundwater bodies: using water mean residence time methods and a method based on the temperature dependence of dissolved noble gas concentrations in water. I reconstructed past temperature conditions in two study areas. My aim was to characterize the isotope hydrology and to reconstruct the paleotemperature of aquifers based on noble gas and environmental tracers (^3H , ^{14}C , ^{13}C , ^{18}O , ^2H) in groundwater samples from the Lom depression, Bulgaria and the Tadla Basin, Morocco. In my thesis, I investigated the age distribution of residence times of groundwater bodies using tritium, radiocarbon and terrigenous helium-4, and the recharge conditions, in particular the average temperature during recharge, based on the noble gas temperatures. I examined how well the reconstructed late Pleistocene-Holocene temperatures fit to the that of previous studies in Europe and Africa at continental scale and complemented the late Pleistocene-Holocene environmental reconstruction using noble gas temperatures with stable isotope studies.

3. Material and method

3.1. Description of study area

3.1.1. Study site in Bulgaria

The study area is located in Northwest Bulgaria within the Danubian Plain, at the confluence of the Lom River basin with the Danube, known as the Lom depression, and covers an area of 2500 km². Together, the formations form a multilayered aquifer system in the area. Five hydrogeological units can be distinguished. In my thesis, I analyzed groundwater samples from the following hydrological units: Dacian-Romanian complex (4 water samples), Upper-Pontian aquifer (7 water samples), Maeotian – Lower Pontian aquitard (1 water sample), Sarmatian aquifer (2 water samples).

3.1.2 Study site in Morocco

The Moroccan Tadla Basin (5000 km²) is located in the central part of the country in a large syncline. The more or less regular transgression-regression sedimentary sequence deposited here contains the Oum Er-Rabia (OER) hydrogeological unit, which is a multilayered aquifer system. It contains four main aquifers, in order: Miocene-Pliocene-Quaternary, Maastrichtian-Eocene, Cenozoic and the examined Turonian aquifer, from which 19 water samples were taken.

3.3. Analytical tests

The analytical studies of groundwaters after sampling is very complex. The main objective is to obtain a comprehensive isotope-hydrological picture of the area that can be used to reconstruct the characteristics of paleoclimate that once prevailed. Each type of test serves a different purpose: water chemistry (pH, electrical conductivity, major ions) to understand water-rock interactions and groundwater flow paths; stable isotope and noble gas results to determine paleotemperatures; while environmental radioactive isotopes such as tritium, radiocarbon and terrigenous helium can be used to determine the mean residence time of groundwater.

The analytical investigations of the Bulgarian and Moroccan water samples were carried out in the laboratories of ICER (Centre for Isotope Climatology and Environmental Research, Debrecen) and CNESTEN (Centre National de l'Energie des Sciences et Techniques Nucléaires, Morocco).

4. Research results

4.1. Bulgaria

4.1.1. Water mean residence times

Thesis 1: In the Upper-Pontian aquifer, Dacian-Romanian complex and Sarmatian layers of the Lom depression, Bulgarian contains recently recharged water, as evidenced by the tritium content and ³H/³He ages of groundwater samples. The groundwater in these layers is constantly renewed, they are in active contact with the hydrological cycle.

In order to investigate the age distribution of the aquifers of this study, tritium was used to detect the youngest water samples. Most of the groundwater samples have very low tritium contents, lower than 0.02 TU, and there are some water samples with tritium content between

1.0 and 6.8 TU, indicating recent recharge. The Fishfarm (2) sample from the Dacian-Romanian complex has higher value with 1.23 TU, followed by the Sarmatian aquifer Bukovets (12) with 0.99 TU. The highest tritium content can be found in the groundwater of the well Vasilovtsi (5), of the Upper-Pontian aquifer, with a value of 6.8 TU. In this case I also calculated the $^3\text{H}/^3\text{He}$ age, which gave a $^3\text{H}/^3\text{He}$ residence time of 40 years, which allows to calculate that the recharge must have occurred around 1976.

Thesis 2: In the Lom depression, Bulgaria (the Danubian Plain between the Carpathians and the Balkans), there has been continuous recharge over the last 10,000-12,000 years.

To model the radiocarbon-based water residence times of groundwater samples, I used Ingerson and Pearson model. The results obtained show that the radiocarbon ages of the Bulgarian water samples is representative of the last 12000 years (Figure 5), i.e. recharge occurred in the study area during this period and there is no dry period of such a scale that would cause a gap in the age distribution of the water samples.

The youngest water sample is Vasilovtsi (5) from the Upper-Pontian aquifer. In addition, several samples show recharge in the recent past or during the late Holocene, 3000-4000 years ago: these water samples are from the Dacian-Romanian complex and the Maeotian - Lower Pontian aquitard and Sarmatian layer. I also examined water samples with a residence time between 5000 and 6800 years, representing the Upper-Pontian aquifer, and samples from the Upper-Pontian aquifer and the Dacian-Romanian complex, representing the Early Holocene, between 8000 and 9300 years. The water samples with the longest residence times are assumed to have been recharged during the late Pleistocene or during the late Pleistocene-Early Holocene transition period, between 10000 and 12000 years ago, and are from the Dacian-Romanian complex, the Upper-Pontian and the Sarmatian aquifer.

4.1.2. Paleotemperature reconstruction

Thesis 3: Palaeotemperature reconstructions indicate that the maximum temperature difference between the end of the late Pleistocene and the Holocene periods is 3.5-5.2 °C in the Lom depression in Bulgaria, which is considered low across Europe.

The recharge temperature of the groundwater samples, calculated on the basis of noble gas concentrations, varies between 8.1 ± 0.6 °C and 13.4 ± 0.5 °C. From a palaeoclimatological point of view, the wells with a long residence time and lower noble gas temperatures may be important, namely Smirneniski (13), Dolni Tsibar (11) and Valchedram (4), because their recharge is related to the late Pleistocene-Holocene transition period. The average recharge temperature of the Holocene samples is 11.8 °C, a temperature similar to the average annual temperature of the Danube plain (11.4 °C). Among the samples of Late Holocene age, the samples with the highest infiltration temperature have an average noble gas temperature of 13.4 ± 0.03 °C, and when this temperature is compared with the lowest infiltration temperatures, 8.3 ± 0.1 °C, the maximum temperature difference observed is 5.2 °C. In general, the recharge temperatures obtained indicate a temperature difference of 3.5-5.2 °C (4.3 ± 1.2 °C) between the late Pleistocene and Holocene in the Lom depression in Bulgaria (Figure 5).

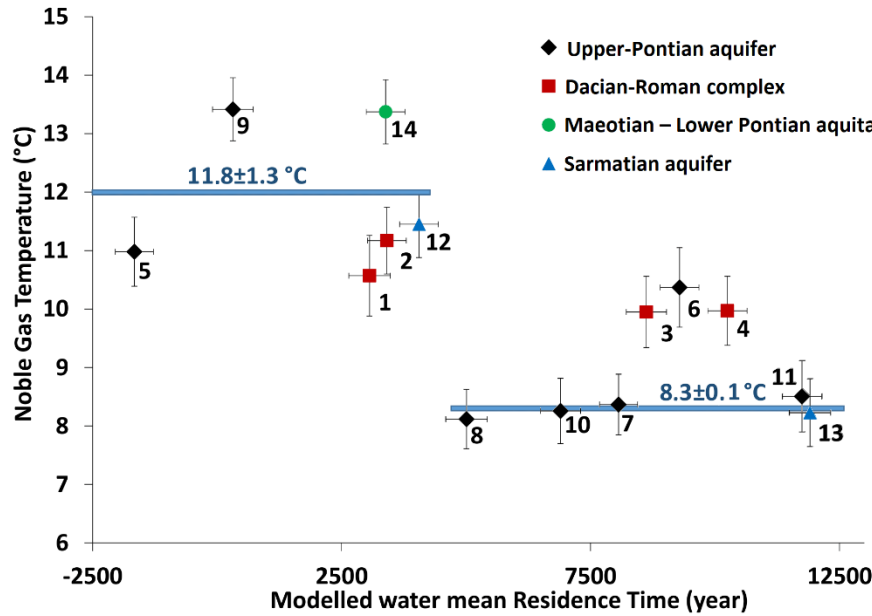


Figure 5. Noble gas temperatures of Bulgarian water samples as a function of radiocarbon-based residence time

This temperature difference is probably representative of the late Pleistocene and Holocene transition period compared to the average recent temperature. This temperature difference is considered to be low across Europe (Figure 6A), so it is unlikely that permafrost prevailed in the recharge areas for such a long period during the Pleistocene that it would have prevented water infiltration into the strata. The fact that there are no water samples representative of the last glaciation may either be the result of mixing with fresh-water or the water samples are not old enough and merely reflect the transition period between the Holocene and the late Pleistocene. It is also possible that the scarcity of the sample area may hinder the analysis of older water, that the flow path may be extended northwards from the current study area to Romania for further research.

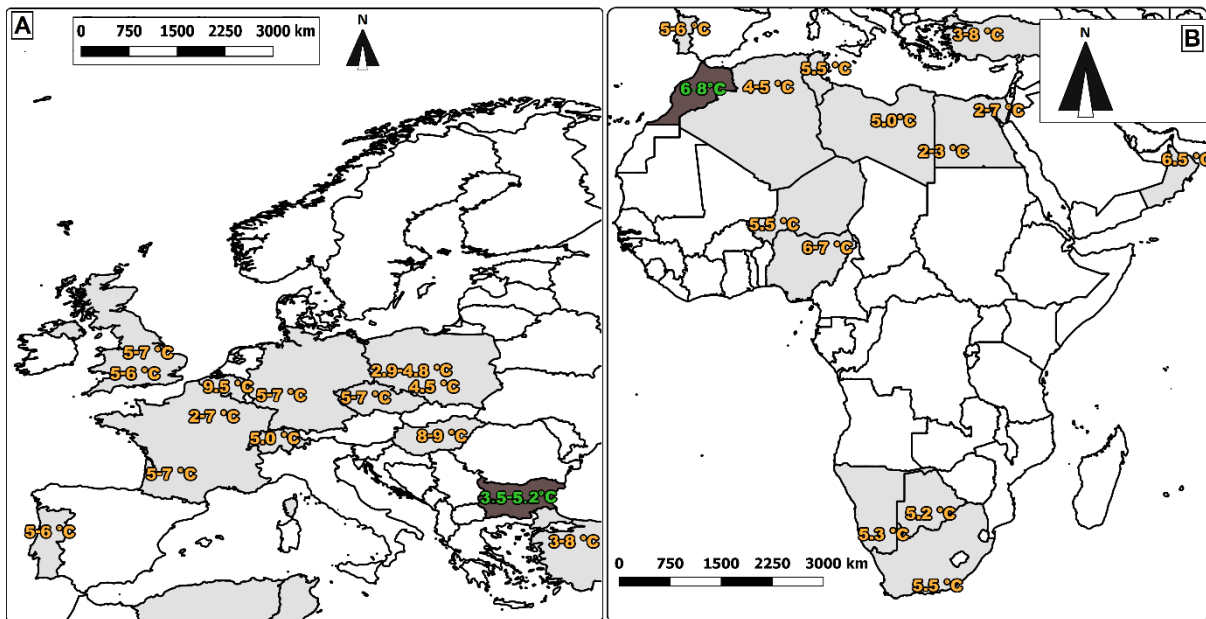


Figure 6. Temperature differences between the Holocene and late Pleistocene in (A): Europe and (B): Africa, obtained with noble gas temperatures

4.1.3. Environmental conditions at the time of recharge

Thesis 4: The stable isotope results of the precipitation-derived groundwater samples of the Lom depression in Bulgaria provide additional information on the temperature conditions of recharge: a temperature change of 1 °C imply an oxygen stable isotope ratio change of 0.38‰ in precipitation.

The oxygen and hydrogen stable isotope values of the water samples from the Lom depression in Bulgaria closely match the global meteoric water line and the local meteoric water line plotted using the stable isotope ratio of precipitation measured at the nearby Ramnicu Valcea (IAEA, GNIP station) in Romania (Figure 7A). The close fit confirms the meteoric origin of the groundwater.

The linear relationship between the oxygen stable isotope ratio of precipitation and temperature (Dansgaard, 1964) is also observed in Bulgarian water samples. This relationship contributes to the local calibration of the Bulgarian stable isotope paleothermometer and highlights that the groundwater samples under study contain climate information. Based on the $\delta^{18}\text{O}$ and noble gas temperatures obtained, it is concluded that a temperature change of 1 °C represents an oxygen stable-isotope ratio change in precipitation of 0.27 ± 0.19 ‰.

During the ice ages, extensive ice sheets accumulated light isotopes, so that ocean waters were richer in heavier isotopes than the current reference VSMOW, with enrichments of $\delta^{18}\text{O}$ of around 1.4‰ (Kahn et al., 1981) and 1.1‰ (Adkins et al., 2002). With the rise in the average temperature of the Earth, ice sheets have retreated, and meltwater is recycled back into the oceans, enriching them in light isotopes. The currently used VSMOW is 0‰ and $\delta^{18}\text{O}$ values are given relative to this, but if it is assumed that ocean waters have deviated from this, it is worth correcting the $\delta^{18}\text{O}$ values of late Pleistocene and early Holocene waters accordingly. I corrected the $\delta^{18}\text{O}$ values of the Smirnenski (13), Dolni Tsibar (11), Agroinvest (6) and Valchedram (4) wells by 1‰, while the $\delta^{18}\text{O}$ values of the Komoshtitsa pumped (3) and RUA (7) wells by 0.5‰ (Figure 7B). Using the $\delta^{18}\text{O}$ values obtained from the ocean water correction, the temperature dependence is 0.38 ± 0.24 ‰/ °C in the Lom depression in Bulgaria. This value (0.38 ‰/ °C) is in good agreement with recent precipitation records in the temperate zone, with 0.30 – 0.40 ‰/ °C in the inland continental direction (Rozanski et al., 1993), and with the value of 0.37 ‰/ °C in Hungary (Vodila et al., 2011).

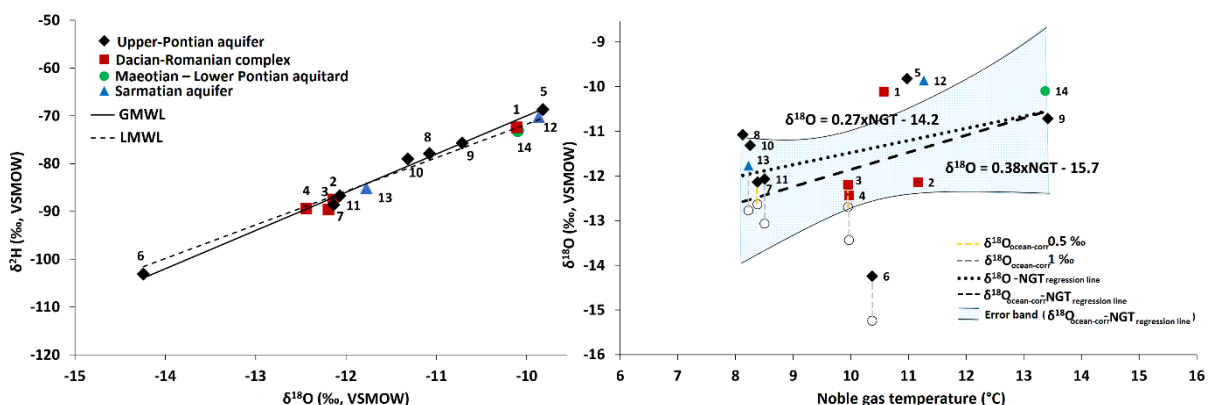


Figure 7. (A): Stable isotope values of Bulgarian water samples and their fit to the local (LMWL) and global (GMWL) meteoric water line (B): $\delta^{18}\text{O}$ values of Bulgarian water samples as a function of noble gas temperature

4.2. Morocco

4.2.1. Water mean residence times

Thesis 5: The Turonian aquifer in the Tadla Basin in Morocco, receives a significant fresh-water contribution, which may occur due to overexploitation of the aquifer, causing local water-table depression, then possible source of this fresh-water contamination is from mixing of shallow groundwater with shallower aquifer through faults.

Nearly all water samples from the Turonian aquifer in the Tadla Basin, Morocco, contain tritium between 0.5 and 1.9 TU. These are not only water samples from the unconfined aquifer part but also from the confined aquifer part. The presence of tritium is of interest because water samples from the confined aquifer part are assumed to have a long residence time (>50 years) and would not in principle contain tracers (such as tritium) that indicate the presence of fresh water. One possible source of fresh-water contribution could be from mixing of shallow groundwater with shallower aquifer through faults. This seepage may be caused by the overexploitation of the aquifer, causing high local water-table depression.

Thesis 6: In the Turonian aquifer of the Tadla Basin in Morocco there has been continuous recharge, which period extends from the present day to the late Pleistocene.

The radiocarbon-based water residence time of water samples from the Turonian aquifer of the Tadla Basin in Morocco was calculated using the Ingerson and Pearson model, supplemented by a fresh-water contribution ratio based on the presence of tritium. The residence times obtained indicate that there are recently recharged waters at and around the outcrop of the Turonian layer, and that increasingly older waters are encountered away from this recharge area, which are Holocene age samples with residence times of 1000-7000 years. The oldest groundwater samples have recharged between 9500-15000 years ago and there are samples with an age of about 24000 years and they represent the late Pleistocene.

To complement the residence time of the Moroccan water samples obtained by radiocarbon modelling, I used accumulation of terrigenous helium contents to clearly distinguish between late Pleistocene and Holocene infiltrated water. For some wells, a trend of $^4\text{He}_{\text{terr}}$ increase was observed, which increases with residence time, so I separated two groups based on a terrigenous ^4He abundance value I determined. One is the young Holocene group, and the other is the late Pleistocene group.

4.2.2. Paleotemperature reconstruction

Thesis 7: The maximum temperature difference in the Tadla Basin between the Late Pleistocene and Holocene is 8.0 ± 2.1 °C, which is considered high at continental level.

In terms of radiocarbon-based residence times, the average recharge temperature of Holocene-age samples from the Recent to 7000 years is 25.1 ± 1.3 °C, while the average recharge temperature of Late Pleistocene-age samples from 9500 to 24000 years is 19.1 ± 1.5 °C (Figure 8A). Without the $^4\text{He}_{\text{terr}}$ -based age classification, many samples represent the Early Holocene, but the recharge temperature of the water shows a cooler climate period compared to present-day and Late and Middle Holocene temperatures. The cooler recharge temperature can also be explained by adiabatic cooling due to evaporation, which in paleoclimatological terms can be interpreted as a change in ground temperature during the Early and Middle Holocene in the "Green Sahara" period. I separated older (and colder) and younger (and warmer) water samples

from each other by terrigenic ^4He -based separation of radiocarbon age data from water samples. Samples with $^4\text{He}_{\text{terr}}$ contents below 5×10^{-7} ccSTP/g were considered Holocene in age, while those above this were considered late Pleistocene. Based on this, the average noble gas temperature of water samples recharged during the Holocene is 25.2 ± 1.3 °C and the average noble gas temperature of water samples recharged during the late Pleistocene is 17.2 ± 1.7 °C (Figure 8B). Thus, the water samples with the lowest noble gas temperatures (14.2 °C and 14.6 °C) can also be clearly considered as having been recharged during the glacial period.

In summary, the radiocarbon dating of the water samples shows an average temperature difference between the two ages (late Pleistocene-Holocene) of 6.0 ± 1.9 °C, while the average temperature difference after age grouping based on $^4\text{He}_{\text{terr}}$ content is 8.0 ± 2.1 °C.

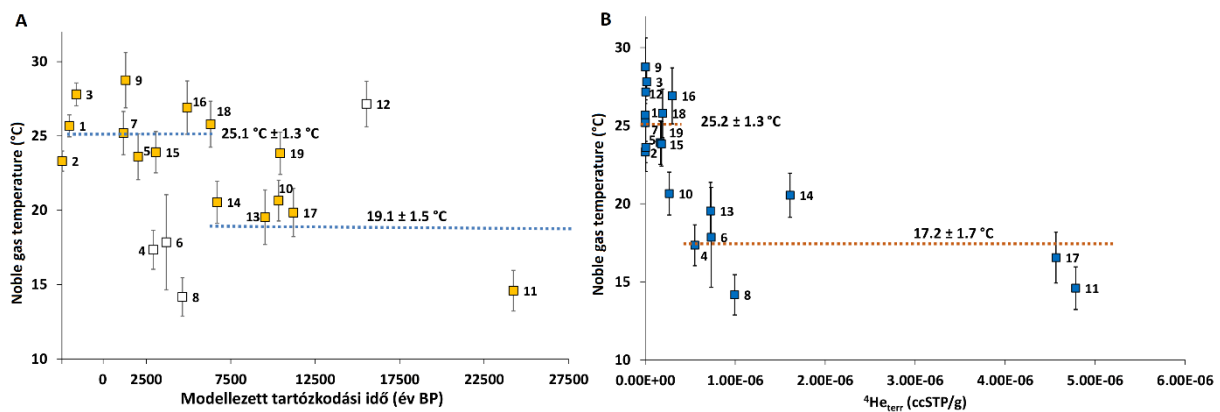


Figure 8. Noble gas temperature as a function (A): of water residence times obtained from the Ingerson and Pearson radiocarbon modelling; (B): as a function of terrigenic helium

Based on noble gas temperatures, several studies have confirmed past continental climate variations in Africa and surrounding regions and, in general, a temperature difference of 4-7 °C has been observed across the continent for the late Pleistocene and Holocene (Figure 6B). Based on my results presented in my thesis, the largest temperature difference at the continental scale is observed in the Moroccan Tadla Basin, is 8.0 ± 2.1 °C. These temperature differences support the hypothesis that a colder climate prevailed during the Late Pleistocene in and around Morocco. The presence of late Pleistocene water in the Turonian aquifer alone suggests that there was also recharge during this period, suggesting a cold and wet climate prevailed in and around the Tadla basin.

4.2.3. Environmental conditions at the time of recharge

Thesis 8: During the late Pleistocene, the Tadla Basin experienced a cooler climate and a lot of rainfall, rather intermittent, much of which fell at low relative humidity. By the Holocene, this had 'normalised', i.e. become similar to the global trend, but the youngest water samples already show the character of evaporation. The stable isotope results provide additional information on the recharge temperature conditions, a temperature change of 1 °C means a change of 0.23‰ oxygen stable isotope ratio in the precipitation

The stable isotope results of the Turonian water samples are close to the global and local meteoric water line, confirming a meteoric origin, although the values for the recent waters are below the water line, while the values for the oldest waters are above the water line. By observing the fit of the stable isotope results to the rainfall contour, a clear distinction between

young and old waters can be made on the basis of the $^4\text{He}_{\text{terr}}$ content (Figure 9A). More negative stable isotope ratios than the Holocene values also support the hypothesis that a cooler climate prevailed during the late Pleistocene in the Tadla Basin.

Presumably, there have been heavy rainfalls during the late Pleistocene, and large amounts of rain fell at the same time during a single rainfall, which fell from an air mass, part of which, according to Clark and Fritz (1997), is mainly derived from the surrounding terrestrial re-evaporation, and therefore produces deuterium excess. The precipitation is likely to have fallen at low relative humidity, when the kinetic fractionation is high and the heavy isotope content of the water vapour is strongly reduced (^{18}O and ^2H are reduced to different extents), causing the isotopic ratio of falling precipitation from this water mass to fall above the water line. The large rainfall events, or more correctly event-based rainfall, are supported by the neon excess. There is a clear correlation between deuterium excess and neon excess, as heavy rainfall events lead to larger water level fluctuations and hence to larger excess air (thus neon excess) due to increased hydrostatic pressure on the trapped air in the quasi-unsaturated zone (Stute and Talma, 1998; Beyerle et al., 2003). Furthermore, a very strong correlation can be established between deuterium excess and noble gas temperature, suggesting that during the late Pleistocene and early to middle Holocene, the climate of the Moroccan Tadla Basin was characterized by a cooler climate and very heavy rainfall.

A linear relationship between $\delta^{18}\text{O}$ values of water samples and temperature can also be observed in the Moroccan water samples, as lower $\delta^{18}\text{O}$ values are associated with lower noble gas temperatures and vice versa. This relationship is quantified to be $0.13 \pm 0.038 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$, however, as in the Bulgarian samples, the stable isotope ratios of the late Pleistocene water samples should be corrected for the stable isotope ratios of the former ocean (Figure 9B). The $\delta^{18}\text{O}$ values of wells 4, 6, 8, 11, 13, 17 with longer residence times were corrected by 1‰, while the $\delta^{18}\text{O}$ values of wells 10 and 14 with slightly shorter residence times were corrected by 0.5‰. After corrections, the relationship between the oxygen stable isotope and temperature changes to $0.23 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$. Both values are close (0.13 and $0.23 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$) to the $\delta^{18}\text{O}$ -temperature dependence of recurrent precipitation $\delta^{18}\text{O}$ recorded by stations in the marine oceanic regions of $0.17 \pm 0.036 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$ (Clark and Fritz, 1997), or to the Gibraltar station data of $<0.5 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$ (Vystavna et al. 2021).

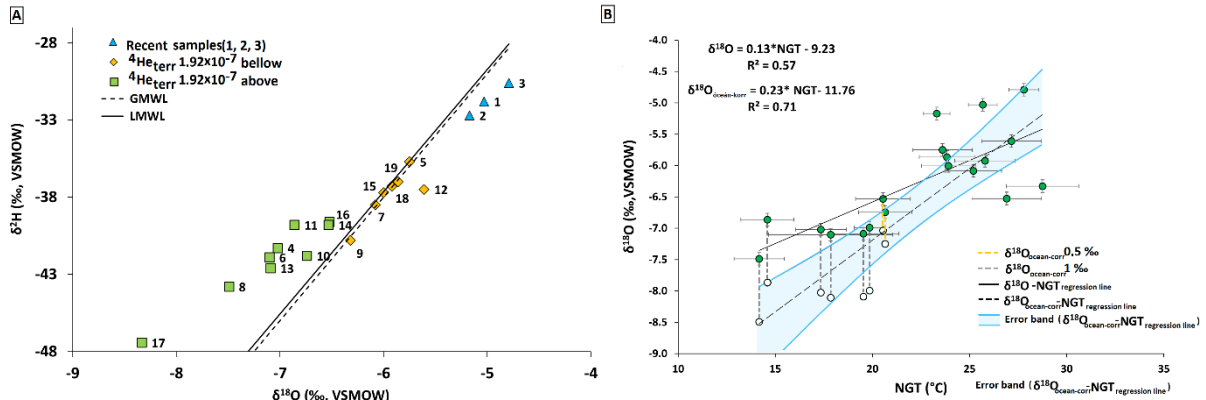


Figure 9. (A): Plots of $\delta^2\text{H}$ values of Moroccan water samples versus $\delta^{18}\text{O}$ values (markers are colored and formatted according to $^4\text{He}_{\text{terr}}$'s quantitative grouping) (B): Plots of $\delta^{18}\text{O}$ values of Moroccan water samples versus NGT

Literature

- Adkins J.F., McIntyre K., Schrag D.P. 2002. The salinity, temperature, and $\delta^{18}\text{O}$ of the glacial deep ocean. *Science*, 298 (5599), 1769-1773.
- Aeschbach-Hertig W., Beyerle U., Holocher J., Peeters F., Kipfer R. 2002. Excess air in groundwater as a potential indicator of past environmental changes. In *Study of Environmental Change using Isotope Techniques*. IAEA, Vienna, pp. 174–183.
- Benson B. B. 1973. Noble gas concentration ratios as paleotemperature indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37 p. 1391–1395.
- Beyerle U., Purtschert R., Aeschbach-Hertig W., Imboden D. M., Loosli H. H., Wieler R., Kipfer, R. 1998. Climate and groundwater recharge during the last glaciation in an ice-covered region. *Science*, 282(5389), 731-734.
- Clark I. D., Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Chapter 3: Precipitation, CRC press. 63-77, <https://doi.org/10.1201/9781482242911>.
- Ingerson, E., Pearson, F. J. 1964. Estimation of age and rate of motion of groundwater by the ^{14}C -method. Recent researches in the fields of atmosphere, hydrosphere and nuclear geochemistry, 263-283.
- Kahn M. I., Oba T., Ku, T. L. 1981. Paleotemperatures and the glacially induced changes in the oxygen-isotope composition of sea water during late Pleistocene and Holocene time in Tanner Basin, California. *Geology*, 9(10) 485-490.
- Kendall C., McDonnell J. J. (Eds.). 2012. Isotope tracers in catchment hydrology. Elsevier, pp. 51-57.
- Kipfer R., Aeschbach-Hertig W., Peeters F., Stute, M. 2002. Noble gases in lakes and ground waters. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 47(1), 615-700.
- Mazor E. 1972. Paleotemperatures and other hydrological parameters deduced from gases dissolved in ground waters, Jordan Rift Valley, Israel. *Geochem Cosmochim Acta* 36:1321-1336.
- Rozanski K. 1985. Deuterium and oxygen-18 in European groundwaters—links to atmospheric circulation in the past. *Chemical Geology*, 52(3-4), 349-363.
- Stute M., Schlosser P. 1993. Principles and applications of the noble gas paleothermometer. *GMS*, 78, 89-100.
- Stute M., Talma A. S. 1998. Glacial temperatures and moisture transport regimes reconstructed from noble gases and $\delta^{18}\text{O}$, Stampriet Aquifer, Namibia. In *Isotope techniques in the study of environmental change*. IAEA, 1998, 307-318.
- Vodila G., Palcsu L., Futó I., Szántó Zs. 2011. A 9-year record of stable isotope ratios of precipitation in Eastern Hungary: implications on isotope hydrology and regional palaeoclimatology. *Journal of Hydrology* 400, 144-153.
- Vystavna Y., Matiatos I., Wassenaar L. I. 2021. Temperature and precipitation effects on the isotopic composition of global precipitation reveal long-term climate dynamics. *Scientific reports*, 11(1), 1-9.



Registry number: DEENK/405/2022.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Marianna Túri
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10056734

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Túri, M.**, Saadi, R., Marah, H., Temovski, M., Molnár, M., Palcsu, L.: Paleotemperature reconstruction using environmental isotopes and noble gases in groundwater in Morocco. *Hydrogeol. J.* 28, 973-986, 2020. ISSN: 1431-2174.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-020-02121-1>
IF: 3.178
2. **Túri, M.**, Molnár, M., Orehova, T., Toteva, A., Hristov, V., Benderev, A., Horváth, A., Palcsu, L.: Tracing groundwater recharge conditions based on environmental isotopes and noble gases, Lom depression, Bulgaria. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 24, 1-15, 2019. ISSN: 2214-5818.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100611>
IF: 3.645

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

3. **Túri, M.**: A Sebes-Körös artéri feltöltődésének vizsgálata. *Szakkoll. tanulm. (Hatvani István Szakkoll. DE TEK).* 2, 200-212, 2013. ISSN: 2063-6059.

Foreign language scientific articles in international journals (16)

4. Miller, J. A., Turner, K. B., Watson, A., van Rooyen, J., Molnár, M., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Characterization of groundwater types and residence times in the Verlorenvlei catchment, South Africa to constrain recharge dynamics and hydrological resilience. *J. Hydrol. [Epub]*, 1-44, 2022. ISSN: 0022-1694.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128280>
IF: 6.708 (2021)





5. Temovski, M., Rinyu, L., Futó, I., Molnár, K., **Túri, M.**, Demény, A., Otoničar, B., Dublyansky, Y., Audra, P., Polyak, V., Asmerom, Y., Palcsu, L.: Combined use of conventional and clumped carbonate stable isotopes to identify hydrothermal isotopic alteration in cave walls.
Sci. Rep. 12 (1), 1-17, 2022. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-12929-4>
IF: 4.996 (2021)
6. Puskás-Preszner, A., Orosz, A., Kompár, L., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Isotopic tracing and quantitative assessment of rainwater in a separate sewer system in Tiszavasvári, Hungary.
Results in Engineering. 2022 (13), 1-7, 2022. ISSN: 2590-1230.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100360>
7. **Túri, M.**, Hubay, K., Molnár, M., Braun, M., László, E., Futó, I., Palcsu, L.: Holocene paleoclimate inferred from stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) values in Sphagnum cellulose, Mohos peat bog, Romania.
J. Paleolimn. 66, 229-248, 2021. ISSN: 0921-2728.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-021-00202-z>
IF: 2.265
8. Palcsu, L., Gessert, A., **Túri, M.**, Kovács, A., Futó, I., Orsovski, J., Puskás-Preszner, A., Temovski, M., Koltai, G.: Long-term time series of environmental tracers reveal recharge and discharge conditions in shallow karst aquifers in Hungary and Slovakia.
Journal of Hydrology: Regional Studies. 36, 1-12, 2021. ISSN: 2214-5818.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100858>
IF: 5.437
9. Temovski, M., **Túri, M.**, Futó, I., Braun, M., Molnár, M., Palcsu, L.: Multi-method geochemical characterization of groundwater from a hypogene karst system.
Hydrogeol. J. 29, 1129-1152, 2021. ISSN: 1431-2174.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-020-02293-w>
IF: 3.151
10. Major, I., Dani, J., Kiss, V., Melis, E., Patay, R., Szabó, G., Hubay, K., **Túri, M.**, Futó, I., Huszánk, R., Jull, A. J. T., Molnár, M.: Adoption and evaluation of a sample pre-treatment protocol for radiocarbon dating of cremated bones at HEKAL.
Radiocarbon. 61 (1), 159-171, 2019. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.41>
IF: 1.975
11. Major, I., Gyökös, B., **Túri, M.**, Futó, I., Filep, Á., Hoffer, A., Furu, E., Jull, A. J. T., Molnár, M.: Evaluation of an automated EA-IRMS method for total carbon analysis of atmospheric aerosol at HEKAL.
J. Atmos. Chem. 75 (1), 85-96, 2018. ISSN: 0167-7764.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10874-017-9363-y>
IF: 1.783





12. Hubay, K., Braun, M., Harangi, S., Palcsu, L., **Túri, M.**, Jull, A. J. T., Molnár, M.: High-Resolution Peat Core Chronology Covering the Last 12 KYR Applying an Improved Peat Bog Sampling. *Radiocarbon*. 60 (05), 1367-1378, 2018. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.113>
IF: 1.531
13. Hubay, K., Braun, M., Buczkó, K., Pál, I., Veres, D., **Túri, M.**, Biró, T., Magyari, E.: Holocene environmental changes as recorded in the geochemistry of glacial lake sediments from Retezat Mountains, South Carpathians. *Quat. Int.* 477, 19-39, 2018. ISSN: 1040-6182.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2018.02.024>
IF: 1.952
14. Szabó, T., Janovics, R., **Túri, M.**, Futó, I., Papp, I., Braun, M., Németh, K., Szekeres, G. P., Kinka, A., Szabó, A., Hernádi, K., Hajdu, K., Nagy, L., Rinyu, L.: Isotope Analytical Characterization of Carbon-Based Nanocomposites. *Radiocarbon*. 60 (04), 1101-1114, 2018. ISSN: 0033-8222.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2018.63>
IF: 1.531
15. Palcsu, L., Morgenstern, U., Sültenfuss, J., Koltai, G., László, E., Temovski, M., Major, Z., T. Nagy, J., Papp, L., Varlam, C., Faurescu, I., **Túri, M.**, Rinyu, L., Czuppon, G., Bottyán, E., Jull, A. J. T.: Modulation of Cosmogenic Tritium in Meteoric Precipitation by the 11-year Cycle of Solar Magnetic Field Activity. *Sci Rep.* 8 (1), 1-9, 2018. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-31208-9>
IF: 4.011
16. Temovski, M., Futó, I., **Túri, M.**, Palcsu, L.: Sulfur and oxygen isotopes in the gypsum deposits of the Provalata sulfuric acid cave (Macedonia). *Geomorphology*. 315, 80-90, 2018. ISSN: 0169-555X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.010>
IF: 3.681
17. Saadi, R., **Túri, M.**, Palcsu, L., Marah, H., Hakam, O. K., Rinyu, L., Molnár, M., Futó, I.: A potential groundwater aquifer for palaeoclimate reconstruction: Turonian aquifer, Tadia basin, Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 132, 64-71, 2017. ISSN: 1464-343X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.021>
IF: 1.532
18. **Túri, M.**, Palcsu, L., Papp, L., Horváth, A., Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L., Janovics, R., Braun, M., Hubay, K., Kis, B. M., Koltai, G.: Isotope Characteristics of the water and sediment in volcanic lake Saint Ana, East-Carpathians, Romania. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.* 11 (2), 475-484, 2016. ISSN: 1842-4090.
IF: 0.88





19. Kéri, M., Palcsu, L., **Túri, M.**, Heim, E., Czébely, A., Novák, L., Bányai, I.: ¹³C NMR analysis of cellulose samples from different preparation methods.
Cellulose. 22 (4), 2211-2220, 2015. ISSN: 0969-0239.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-015-0642-y>
IF: 3.195

Hungarian abstracts (1)

20. Csoma, V., Tóth, E., Szurominé Korecz, A., Magyar, I., Rinyu, L., **Túri, M.**: Adatok a Pannon-tó fejlődéstörténetéhez: kagylósrák-vizsgálatok a Dél-Dunántúlról.
In: 22. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés : program, előadáskivonatok. Szerk.: Virág Attila, Bosnakoff Mariann, Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 10-11, 2019. ISBN: 9789638221759

Foreign language abstracts (11)

21. Palcsu, L., **Túri, M.**, Futó, I., Kovács, J., Szabó, P., Orsovski, J., Temovski, M., Rinyu, L.: Local temperature calibration of carbonate-water oxygen isotope fractionation and clumped isotopes ($\delta^{18}O$) in a karstic freshwater limestone environment.
Geophys. Res. Abstr. 21, 8493, 2019. ISSN: 1029-7006.
22. Kiss, G. I., **Túri, M.**, Futó, I., Kovács, J., Szabó, P., Palcsu, L.: Oxygen isotope ratio measurements on bioapatite samples prepared from mammal tissues: method development at ICER Centre.
Geophys. Res. Abstr. 21, 8626, 2019. ISSN: 1029-7006.
23. **Túri, M.**, Palcsu, L., Rinyu, L.: Status report of the new carbonate clumped laboratory of Isotope Climatology and Environmental Research Center (ICER), Debrecen, Hungary.
Geophys. Res. Abstr. 21 (EGU2019-9448), 9448, 2019. ISSN: 1029-7006.
24. Csige, I., Futó, I., Janovics, R., Molnár, M., Rinyu, L., Palcsu, L., Major, I., **Túri, M.**, Sóki, E., Molnár, J.: Estimation of Uptake Rate of Carbon Dioxide Through the Skin by Measurement of Carbon Isotope Ratio of Exhaled Air.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 123-124, 2017. ISBN: 9789730245035
25. **Túri, M.**, Palcsu, L., Molnár, M., Futó, I., Orehova, T., Toteva, A., Hristov, V., Benderev, A.: Finding palaeowaters in a multi-layered aquifer system in the Lom depression of Danubian Plain in Bulgaria.
Geophys. Res. Abstr. 2017 (19), EGU2017-16573, 2017. ISSN: 1029-7006.





26. Palcsu, L., **Túri, M.**, Saadi, R., Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L., Hakam, O. K., Marah, H.:
Palaeoclimate Reconstruction Based on Noble Gas Recharge Temperatures: Turonian
Aquifer, Tadla Basin, Morocco.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of
Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for
Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 33, 2017. ISBN:
9789730245035
27. Palcsu, L., László, E., Kiss, G. I., Futó, I., **Túri, M.**, Temovski, M., Cheng, H.: Preliminary Results
of a Stalagmite Palaeoclimate Record Covering the Transition of the Last Interglacial/Glacial
Period.
In: 14th Workshop of the European Society for Isotope Research, ESIR 2017 : Book of
Abstracts. Ed.: Roxana Elena Ionete, National Research and Development Institute for
Cryogenics and Isotopic Technologies : ICSI Rm. Vâlcea, Băile Govora, 103, 2017. ISBN:
9789730245035
28. Saaadi, R., Palcsu, L., Marah, H., **Túri, M.**, Futó, I., Molnár, M., Rinyu, L.: A potential
groundwater aquifer for palaeoclimate reconstruction: Turonian Aquifer, Tadla Basin,
Morocco.
Geophys. Res. Abstr. 2016 (18), EGU2016-11946, 2016. ISSN: 1029-7006.
29. **Túri, M.**, Palcsu, L., Futó, I., Hubay, K., Molnár, M., Rinyu, L., Braun, M.: Preliminary stable
isotope results from the Mohos peat bog, East-Carpathians.
Geophys. Res. Abstr. 2016 (18), EGU2016-6407, 2016. ISSN: 1029-7006.
30. Major, I., Gyökös, B., **Túri, M.**, Futó, I., Filep, Á., Hoffer, A., Molnár, M.: Testing of an automated
online EA-IRMS method for fast and simultaneous carbon content and stable isotope
measurement of aerosol samples.
Geophys. Res. Abstr. 18 (1), 3843, 2016. EISSN: 1607-7962.
31. Hubay, K., Braun, M., Harangi, S., Palcsu, L., **Túri, M.**, Rinyu, L., Molnár, M.: Radiocarbon dating
of Sphagnum cellulose from Mohos peat bog, East Carpathians.
Geophys. Res. Abstr. 2015 (17), EGU2015-10813, 2015. ISSN: 1029-7006.

Total IF of journals (all publications): 51,451

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 6,823

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on
the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

