

## Bíráói vélemény

### **Pécskay Zoltán: A K-Ar kormeghatározási módszer alkalmazása harmadidőszaki vulkáni területek geokronológiai kutatásában** című akadémiai doktori értekezéséről

A geokronológia tudományágának fő hazai műhelye a debreceni ATOMKI laboratóriuma, ahol a K-Ar módszerrel az 1970-es évek óta végeznek kormeghatározásokat. Balogh Kadosa mellett Pécskay Zoltán már korán bekapcsolódott a kutatásokba, és hatalmas mennyiségű munkát végzett elsősorban a harmadidőszaki vulkanitok kormeghatározásában. Ez adja a bírálatom tárgyát képező értekezés témáját.

A terjedelmes, 238 oldalas disszertáció öt fő fejezetből áll. Rövid bevezetés után a K-Ar kormeghatározási módszer általános ismertetését adja, majd területi rendezés szerint mutatja be a Kárpát-Pannon régió neogén-kvarter magmatitjainak, az alsó-sziléziai neogén-kvarter vulkanitoknak, valamint Bulgária és Görögország paleogén-neogén vulkanitjainak geokronológiai kutatási eredményeit. A disszertáció zömét a 150 oldalt kitevő terjedelmű, a Kárpát-Pannon régióval foglalkozó fejezet adja. Ha a Szerző figyelembe vette volna az MTA Földtudományok Osztályának Doktori Követelményrendszere által szabott 150 oldalas terjedelmi korlátot, csupán ezek az eredmények alapján is teljes értékű doktori művet alkothatott volna.

Első olvasásra három alapvető észrevételt tudtam tenni:

- 1) A témaválasztás fontosságát és hasznosságát meggyőzően igazolja a bemutatott geokronológiai eredményeket mintegy megrendelő, azokat társszerzőként is felhasználó és földtudományi értelmezésükben részt vevő hazai és külföldi szakemberek hosszú sora. A témák és együttműködő partnerek a hazai mellett a szomszédos országok és kissé távolabbi környékbéli régiók (Csehország, Lengyelország, Balkán-félsziget) geológiáját is reprezentálják.
- 2) Az értekezés imponáló mennyiségű vizsgálati adaton, több száz K-Ar kormeghatározáson alapul. Ezeket az eredményeket a Szerző rendkívül szerteágazó hazai és nemzetközi együttműködések keretében érte el.
- 3) Az értekezés területi elvű felépítése jól követhető, de a szerkesztés több szempontból már az első olvasáskor kérdéseket támaszt. Az egyes részfejezetekben a geológiai következtetések levonása többször már a bevezető alfejezetben, a kormeghatározási eredmények ismertetése előtt megtörténik. Ennél is meglepőbb és kifogásolható egy összefoglaló fejezet teljes hiánya.

A bírálónak közvetlenül nem dolga, de véleményformálást segíti a tájékozódás a munka nemzetközi jegyzettségéről és hatásáról. A Szerző több mint száz folyóiratcikkének túlnyomó része nemzetközi folyóiratokban jelent meg, hivatkozásainak száma több mint 1100, H-indexének értéke 20, azaz az MTA doktori címnek megfelelő nemzetközi elismertséget és jelentős visszhangot tükröz. Legtöbbet idézettek éppen a doktori mű tárgykörén belül a Kárpát-Pannon térség neogén és kvarter vulkanizmusának tér- és időbeli eloszlását összefoglaló munkák (első szerzőként Pécskay et al. 1995, 2006, társszerzőként Seghedi et al. 2004).

Az értekezés részletes tanulmányozása során a következő észrevételeket tettem. A bevezető fejezetben a Szerző célkitűzését így fogalmazza meg: „az elmúlt évtizedek során több ezer radiometrikus koradat birtokába jutottam a Kárpát–Pannon régió és az azzal szomszédos vulkáni területekről... a jelen disszertációm célkitűzése a nagyszámú földtani jelentéssel bíró K/Ar koradat területenkénti rendszerezése és kiértékelése, valamint az ezekből az adatokból

levonható legfontosabb következtetések tézispontokba való összefoglalása”. Előrebocsátom, hogy véleményem szerint ezt a célkitűzést a dolgozat teljesíti.

A 2. fejezet tömören ismerteti a K-Ar kormeghatározási módszert. Az elméleti háttérrel adó 2.1. alfejezet közli, hogy a K-Ar korszámítások a nemzetközileg hosszú idő óta használatos, Steiger & Jäger (1977) munkájában javasolt  $^{40}\text{K}$  bomlási állandót használják. Sajnálatos, hogy a dolgozat nem tesz említést arról, hogy ezt a bomlási állandót lehetséges pontatlansága miatt az elmúlt években többen súlyos kritikával illették (pl. Begemann et al. 2001, Villa and Renne 2005), és már javaslat született a mai ismereteink szerint pontosabb érték használatára is (Renne et al. 2010), bár kétségtelen, hogy ennek vitája geokronológus körökben még nem zárult le (Schwarz et al. 2011) és még nem „szentesítette” azt egy hivatalos bizottság. Bár a viszonylag fiatal korok és többnyire számottevő  $1\sigma$  hibák esetében a pontosabb bomlási állandóval való újraszámolás nem adna nagyon különböző korokat, ennek legalább említése és a számított korok lehetséges eltéréseinek bemutatása kívánatos lenne.

A 2.2.4. alfejezet foglalkozik az analitikai hibák mellett a földtani hibák bemutatásával, ami a K-Ar módszer neuralgikus pontja. Tömör, nyolc pontból álló felsorolás mutatja be azokat a lehetőségeket, amikor a számított kor eltér a kőzet kristályosodási korától. Mivel a K-Ar módszer alkalmazásakor nincs belső lehetőség a kapott koradat minőségellenőrzésre, ezért ezeknek a hibáknak a meglétét vagy éppen kizárását csak mérlegeléssel, sokszor szubjektív módon tehetjük meg, amire a Szerző bőven ad példát a disszertáció fő részében. Nem hallgatható el, bár a dolgozat nem hangsúlyozza, hogy éppen ezért szorult egyre inkább háttérbe a modern geokronológiában a konvencionális K-Ar módszer alkalmazása. Az ugyanarra a radioaktív bomlási folyamatra alapuló, tehát ugyanazokra a képződményekre alkalmazható Ar/Ar módszer térnyerése a nagyobb analitikai pontosság mellett annak is köszönhető, hogy a lépcsőzetes hevítéses módszer eredményeiben felismerhető, ha a minta nem zárt rendszerként viselkedett. Az Ar veszteség vagy többlet Ar problémája viszont a hagyományos K-Ar adatokban rejtve marad, ami a módszer megkerülhetetlen gyengesége.

A 2.3. alfejezet a kronosztratigráfia fogalmát nem a rétegtanban szokásos jelentésével használja, hanem gyakorlatilag az időskála kalibrációját érti alatta. Ebből a K-Ar módszer az alacsonyabb megbízhatósága és pontossága miatt már jó ideje kiszorult, az Ar/Ar és U-Pb módszerek térnyerésével. A disszertáció viszont a vulkanitokhoz térben kapcsolódó üledékek biosztratigráfiai korát többször felhasználja a bemutatott K-Ar korok validálására, ami valamely kalibrált időskála felhasználásán alapul. Kár, hogy ezekre a felhasznált időskálákra a disszertáció szinte egyáltalán nem hivatkozik (a Paratethys regionális rétegtani skálájának kalibrálását adó Harzhauser & Piller 2007 kivételével), ennél több, de mára elavult időskála csak a téziszüzetben kerül említésre (Vass et al. 1987, Vass & Balogh 1989, Rögl 1996, Palmer & Geissman 1999, Gradstein & Ogg 1996). A geológiai időskála új, nemzetközi sztenderdnek tekinthető változata a dolgozattal egyidőben készült el (Ogg et al. 2012), de annak előző változatára (Gradstein et al. 2004, 2008) lehetett és kellett volna támaszkodni.

A módszertani bevezető fejezet szinte teljesen nélkülözi a nemzetközi hivatkozásokat. Jóllehet egy több mint fél évszázada bevezetett, hagyományos kormeghatározási módszerről van szó, mégis nehezen tételezhető fel, hogy a korszerű külföldi irodalomból nem meríthető hasznos tapasztalat, illetve az ne segítene elhelyezni a K-Ar korokat a geokronológiai adatok megbízhatósági skáláján. Az analitikai munkában használt ásványfázisok általános értékelése (2.4. fejezet) sokféle problémát vet fel, de ez a rész is nélkülözi a külső hivatkozásokat, holott a saját tapasztalat mellett összehasonlításul nyilván mások máshonnan született eredményei is rendelkezésre állnak.

A dolgozat legnagyobb része a 150 oldal hosszúságú 3. fejezet, amely a Kárpát-Pannon térség fiatal kainozoikumi magmatizmusának K-Ar geokronológiáját mutatja be. A nagyon nagyszámú koradat segítségével területegységenként is, majd a fejezet összefoglalójában (3.13. alfejezet) az egész térségre vonatkozóan ismerteti a vulkanizmus térbeli és időbeli elterjedését. Az átfogó, nagy volumenű munka jelentőségének és értékének hangsúlyozása mellett, bírálóként itt néhány kritikai megjegyzést is teszek. A területi elvű feldolgozás Seghedi et al. (2004) besorolását követi, de bemutatja Harangi (2001) szintézisének felosztását is. A kettő közti különbségből is fakadhat, hogy a délnyugati területek magmatizmusának geokronológiáját (Pohorje, Dráva-Száva süllyedék, Baranya) részletesen nem tárgyalja a mű, ennek ellenére az összefoglaló 3.13. alfejezetben ezekről a be nem mutatott eredményekről is szó esik.

Az új eredmények részletes bemutatását megelőzi a Szerző szintetizáló munkáira támaszkodva a különböző közettípusokat eredményező vulkanizmus tér-időbeli elterjedésének áttekintése. A savanyú mészkáli képződményekkel foglalkozó 3.2.1. alfejezet ismerteti a klasszikus három riolittufa szintet, de (jogosan) vitatja azok elkülönítésének létjogosultságát. Önellentmondásba kerül a Szerző akkor, amikor ennek ellenére bevezetni javasolja a negyedik, „legfelső riolittufa” szintet. A riolittufák korolása részletesen nem tárgya az értekezésnek, pedig a korábbi irodalomban ez a képződmény-együttes tanulságos példáját adja a K-Ar módszerrel végzett kormeghatározás buktatóinak, amit más módszerek (U-Pb és Ar/Ar) segíthetnek feltárni és megoldani.

A további fejezetek területi sorrendben részletesen ismertetik a Szerző által elért új kormeghatározási eredményeket és azok geológiai kontextusát. Mivel húsznál több területi egységen ill. vulkáni komplexumon belül több száz K-Ar korról van szó, a bírálatban nincs módom ezek részletes elemzésére. Mindössze néhány kimagaslóan értékesnek tartott eredményre hívom fel a figyelmet, illetve jelzem, ha néhány helyen kérdéseim támadtak.

A Közép-Szlovákiai Vulkanizációs Mező számos vulkáni felépítményéről születtek fontos koradatok, amelyek a szomszédos hazai területek korrelatív képződményeinek jobb megértéséhez is fontosak. Számomra magyarázat nélkül marad, hogy miért valamennyi mérés teljes kőzetben történt (csakúgy mint a 3.12. fejezetben ismertetett Erdélyi-szigethegységi minták esetében). Egyes koradatok értelmezése módszertanilag vitatható, pl. nehezen fogadható el az a szubjektív érvelés, amely a Karancs-Sátoros lakkolitja  $16,4 \pm 1,3$  K-Ar koráról azt mondja: „nem zárható ki teljes biztonsággal az a lehetőség sem, hogy a K/Ar kor kicsit „öregebb” a valódi földtani kortól (a szubvulkáni test benyomulásának a kora), mivel a teljes kőzetben gyakori a kristályos aljzattól származó xenolitok és xenokristályok jelenléte. Mindezeket figyelembe véve a lakkolit megszilárdulásának legvalószínűbb kora körülbelül 16,0 millió évre tehető”.

Az egyik legalaposabban vizsgált vulkáni felépítményt a Körmöci-hegység Jastrabá Formációba sorolt kőzetei alkotják. A földtani hibalehetőségek kiszűrését itt részletesen tárgyalja a Szerző. A 3.4. táblázatban bizonytalanak jelölt kormeghatározásokról nem derül ki egyértelműen, hogy azt a vajon a mérést megelőzően lehetett problémásnak címkézni a vékonycsiszolatosnál diagnosztikusabbnak mondott mikroszondás vizsgálatok alapján, vagy csak a mérés után, a kapott koradat eltérő volta miatt kerültek a megbízhatatlan kategóriába. Mivel a 88 minta negyedét, 22 mérést bizonytalanak tart a Szerző, vélhetően a mérések előtt nem sikerült kiszűrni a problémát, hiszen előre látott bizonytalanság esetén nem is lett volna érdemes elvégezni az analitikai munkát. A táblázat adatait különböző szempontok szerint rendezve világosan látszik, mennyire nehéz a K-Ar adatok földtani hibáját, azaz megbízhatóságát előrejelző tényezőt találni. A medián alatti K (%) és  $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$  (%) értékekhez számottevően nagyobb arányban tartoznak bizonytalanak tartott korok (44% vs. 7%), de

nem látszik egyértelmű határ, ami alatti értékkel a mintát eleve „gyanúsnak” kellene kezelni, vagy ami felett eleve „megbízható”, földtani hibától mentes lenne. Az ásványfázisok teljesítménye konzisztensebb, pl. 27 jó biotit elemzés mellett csak 1 bizonytalan, viszont fordított a sikerarány pl. káliföldpát és amfibol esetén, míg vegyes a tapasztalat a plagioklással, vulkáni üveggel, és a káliföldpát-alapanyag kevert mintákkal. Az amfibol korokat külön megvizsgálva nem világos, miért került mind a három mérés bizonytalan besorolásba (LKR-15 és LKR-16 minták Bartosról), holott hibahatáron belül átfedésben állnak ugyanezen minták más elemzett frakcióival, melyek eredménye elfogadott a Szerző által. Összegezve, ez a méréssor jól tükrözi a K-Ar módszer Achilles-sarkát, a kapott eredmények értelmezésének elkerülhetetlen szubjektivitását.

További apró kritikai technikai észrevételek: a méréssorhoz tartozó 3.2 ábra két része egy görbe kivételével azonosnak tűnik, a görbék pontjainak értelmezéséhez az ábraaláírás nem nyújt elég segítséget. A 3.3 táblázat korintervallumait a hibatartományok szélsőértékeit figyelembe véve, egyszerű tól-ig tartományként célszerű megadni, illetve az átlagos koroknál nem egyértelmű, hogy az elfogadott mérések súlyozott átlagáról van-e szó.

A középső szegmens keleti részének szubvulkáni-intruzív magmatitjai közül a Torojága K-Ar koradatai is tanulságosak. A 3.13. táblázatban közölt adatokban is összehasonlíthatjuk a teljes kőzet és biotit korokat, melyek általában átfedésben vannak, de hol az egyik, hol a másik ad idősebb kort. A Szerző is kiejt egyetlen túl fiatal biotit kort (To-4. minta), ahol pedig az analitikai adatokból nem volt gyanítható a probléma. Újabb példa arra, hogy a megbízhatónak vélt ásványfázison, ideális K tartalom mellett, jó analitikai munkával is meghatározható földtanilag hibásnak tekinthető K-Ar kor.

A Pieniny-hegységből kapott mérési adatsor is jól példázza a teljes kőzeten és a szeparált ásványfázisokon mért K-Ar korok eltéréseit, melyeket nehéz egységesen értelmezni, bár a Szerző tesz rá kísérletet. A felismerni vélt két magmás fázis elkülönítését az adatok nem támasztják egyértelműen alá, a hibahatárok erősen átfednek (ld. Birkenmajer & Pécskay 2000, Trua et al. 2006), emiatt a tézisekben említett két fázis közti vulkán csend létét nem látom igazolhatónak.

A bíráló számára kulcsfontosságú kérdés a konvencionális K-Ar korok megbízhatósága, illetve a földtani hibák detektálása és kiszűrése. Ebből a szempontból különösen fontosak azok a vizsgált képződmények, melyeken más módszerrel is történt kormeghatározás. Az értekezésben elszórtan találunk erre példákat, melyek közül négyet sorolok fel:

(1) A Dési Tufáról említést tesz ugyan az értekezés, de nem tárgyalja részletesen, bár a Szerző maga is részese a legfrissebb vonatkozó tanulmánynak (Szakács et al. 2012). Az abban szereplő 6 biotiton mért K-Ar kor  $11,47 \pm 1,24$  és  $15,40 \pm 0,63$  között szór. Az idősebb korok a legtöbb radiogén Ar-t tartalmazó mintákhoz kapcsolódnak. A platót nem eredményező lépcsőzetes hevítéses Ar/Ar mérés egyértelműen Ar-vesztésre utal. A hasadványnyomos (FT) kormeghatározást (átlagos kor  $14,93$  Ma) tartják a legjobban összevethetőnek a biosztratigráfiai kor kalibrálásából származó  $15$  Ma korról. (Cirkon U-Pb kormeghatározástól várhatjuk a jövőben a legmegbízhatóbb és legpontosabb eredményt.)

(2) Verespataki mintákon a Szerző szerint (159 o.) a K-Ar korok megerősítést nyertek más laborokban mért Ar/Ar és cirkon U-Pb korok által, a részleteket az értekezés sajnos nem ismerteti.

(3) A Nagygát melletti Zuckerhut mintáján mért K-Ar kort ( $10,89 \pm 0,58$  Ma) a Szerző szerint megerősíti egy Londonban ugyanazon a mintán mért  $11,2$  Ma Ar/Ar koradat. Sajnos semmiféle részletet (elemzés módja, hibahatára) nem tudunk meg (164 o.) és irodalmi hivatkozás sincs az Ar/Ar koradatra.

(4) A bulgáriai Kozhuh szubvulkáni test trachidácitján teljes kőzet, biotit és plagioklász K-Ar korok az 5.1. táblázat adatai szerint  $11,1 \pm 0,4$  és  $12,9 \pm 0,5$  Ma között szórnak, a 211. oldalon

ebből a Szerző 12,5 Ma kort szintetizál. Georgiev et al. (2010) szerint LA-ICP-MS cirkon U-Pb kormeghatározások eredménye a kristálymagon  $13,47 \pm 0,28$  Ma, a peremeken  $12,11 \pm 0,57$  Ma. Ugyanennek a magmás képződménynek a görögországi oldalán a Szerző által mért K-Ar kora  $12,03 \pm 0,46$  Ma, szanidinon mért Ar/Ar plató kor pedig  $11,88 \pm 0,10$  Ma-nak adódott (Elefteriadis & Staikopoulos 1997).

Hasznos lett volna külön is összefoglalni ezeket az eseteket, annál is inkább, mert a K-Ar adatok általános megbízhatóságát a Szerző szempontjából sokszor alátámasztják, és csak egyes esetekben kérdőjelezik meg.

A disszertáció érdemi része a következő mondattal ér véget: „Következésképpen a görög területen meghatározott radiometrikus korok segítségével bizonyíthatjuk a harmadidőszaki vulkanizmus geodinamikájának a megváltozását (Christofides et al., 2004).” Méltatlan így zárni egy hatalmas munkát, bármilyen összegző értékelés, a legfontosabb megállapítások kiemelése, a nyitva maradt kérdések megjelölése és a további lehetséges kutatási irányok vázolása nélkül. Igaz ugyanakkor, hogy az értekezés legnagyobb részét kitevő 3. fejezetnek van önálló összefoglaló alfejezete (3.13.). Nagyon hasznos lehetett volna a több száz kormeghatározás közben felgyűlt módszertani tapasztalatok rendszerezett összefoglalása. Itt lehetett volna összegezni az analitikai hiba mértékét befolyásoló tényezőket, illetve a földtani hiba meglétére utaló jeleket, a koradatok esetleges szűrésének lehetőségeit (pl. a hiba összefüggését a K (%) és  $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$  (%) értékekkel). Ugyancsak fontos a teljes kőzeten és szeparált ásványfázisokon (plagioklász, szanidin, amfibol, biotit) mért korok átfogó összevetése. Érdekes lehetne annak összehasonlító tárgyalása és magyarázata is, hogy míg egyes andezites vulkáni területeken kizárólag teljes kőzeten történt kormeghatározás (pl. Selmec, Jávoros, Erdélyi-szgethegység), máshol szeparált ásványfázisok datálása is megtörtént (pl. Pieniny-hg.). Igaz ugyan, hogy ennek részletei a dolgozatban elszórva megtalálhatók, már a Bevezetés 16-17. oldalán is (mintegy megelőlegezve a későbbi adatokból levonható tanulságokat), majd pl. a 67-68. oldalon.

Formai jellegű észrevételeim a következők. Az értekezés nyelvezete jobbra szabatos, jól érthető, bár a szöveg elütési hibáktól nem mentes, illetve néhány szakkifejezés ismétlődően helytelenül írásmóddal szerepel (szin-rift, extruzív, intruzív, komplexum, szirtöv, stb.). Mivel a téma a K-Ar kormeghatározás, zavaró, hogy bár a címben és a szövegben még 33 helyen a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően kötőjeles az írásmód, addig 300 alkalommal K/Ar írásmóddal találkozunk.

Az értekezés az analitikai adatokat és számított korokat számos táblázatban közli. Kissé zavaró, hogy a táblázatok tartalma és formája nem egységes. Az 5.1. táblázat például nem közli a máshol általában megadott és a koradatok megbízhatóságának értékeléséhez fontos K (%) és  $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$  (%) értékeket, és vegyesen magyar és angol nyelvű. A 3.4. táblázat külön értéke a földrajzi koordináták megadása, ami viszont a többi táblázatban hiányzik.

Az Irodalomjegyzék bőséges, 18 oldalon több mint 280 tételből áll, többnyire szabatosan összeállított. Az azonos első szerzőjű közlemények sorrendje a szokásostól eltér, így pl. a Szerző saját művei között nehéz megtalálni az éppen keresettet. Csaknem teljesen hiányoznak belőle a nemzetközi módszertani munkák, szinte Steiger & Jäger (1977) bomlási állandót közlő cikke az egyetlen ilyen.

A Szerző számos alpontról álló, de 7 fő tézispontba foglalt eredményeit általában elfogadom. Összefoglalva, Pécskay Zoltán értekezése hatalmas mennyiségű, a kandidátusi fokozat megszerzése óta összegyűjtött hiteles kormeghatározási adatot tartalmaz és azok tudományos igényű geológiai értékelését adja, mellyel jelentősen hozzájárult a Kárpát-Pannon térség és

egyres környező területek kainozoikumii vulkanizmusára vonatkozó geokronológiai ismeretek fejlődéséhez, a magmatizmus térbeli és időbeli elterjedésének megismeréséhez.

Kritikai megjegyzéseim nem kérdőjelezik meg a disszertáció jelentőségét és az elért eredmények fontosságát, de talán ösztönzik a K-Ar módszertani tapasztalatok majdani összefoglalást és a konvencionális K-Ar kormeghatározáson túl a geokronológia modern fősodrához való közelítés lehetőségeinek keresését, elsősorban az Ar/Ar módszer szélesebb körű alkalmazását. Szerzőnek az elvégzett munkához gratulálok, öneki és laboratóriumának további tudományos sikereket kívánok. Javaslom az értekezés nyilvános vitára bocsátását és Pécskay Zoltán fentiekben bírált műve elfogadását.



Pálffy József  
az MTA levelező tagja

Budapest, 2013. július 31. (*Mea culpa*)

A bírálóban hivatkozott, de az értekezésben és/vagy a tézisfűzetben nem szereplő irodalom:

- Begemann, F., Ludwig, K.R., Lugmair, G.W., Min, K., Nyquist, L.E., Patchett, P.J., Renne, P.R., Shih, C.-Y., Villa, I.M. and Walker, R.J., 2001. Call for an improved set of decay constants for geochronological use. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(1): 111-121.
- Renne, P.R., Mundil, R., Balco, G., Min, K.W. and Ludwig, K.R., 2010. Joint determination of K-40 decay constants and Ar-40\*/K-40 for the Fish Canyon sanidine standard, and improved accuracy for Ar-40/Ar-39 geochronology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74(18): 5349-5367.
- Villa, I.M. and Renne, P.R., 2005. Decay constants in geochronology. *Episodes*, 28 (1): 50-51.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G. and Smith, A.G., 2004. *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press, Cambridge, 589 p.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. and Ogg, G., 2012. *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Amsterdam, 1144 p.
- Ogg, J.G., Ogg, G. and Gradstein, F.M., 2008. *The concise geologic time scale*, Cambridge University Press, Cambridge, 120 p.