

**VÁLASZ**  
**Dr. Kiss Tímea opponensi véleményére**

Köszönöm Dr. Kiss Tímeának, hogy átnézte és véleményezte az MTA doktori disszertációmát. Köszönöm a dolgozattal kapcsolatos kritikai észrevételeit.

Az opponensi vélemény a disszertációt fejezetenként értékeli, kérdések és megjegyzések is találhatóak minden fejezethez. A megfeleltethetőség kedvéért a kérdéseket és megjegyzéseket a megjelenési sorrendet követve mutatom be, a válaszaimat pedig közvetlenül utána adom meg.

A bevezető fejezet értékelésében két bírálói kifogás fogalmazódott meg:

**„Azonban az nem feltétlen állja meg a helyét, hogy ez egy „új kutatási irány”, hiszen már a szerző is említi, hogy 60-70 éve is elemezték jégmagokat.“**

**Válasz:** A megjegyzés úgy gondolom, hogy az alábbi mondatra utal: *„A barlangi jégüledékek geokémiai szempontú vizsgálata, a kinyerhető geokronológiai és glaciokémiai információk alkalmazása éghajlati és környezeti rekonstrukciókban még nemzetközi téren is új kutatási iránynak számít.”* A bevezető következő mondatában említett úttörőnek nevezett tanulmány, noha 1967-es dátumú, de geokronológiai adatokat nem tartalmaz és a 47 cm-es jégcszelvényből elemzett 23 minta stabilizotóp elemzéséből gyakorlatilag annyi következtetésre jutottak Mihai Şerban és társai, hogy az összetétel rétegről rétegre változik (*„...conținutul in O18 și D se schimbă de la un strat la altul.”*). Ezek alapján, a történeti pontosság érdekében említtem ezt úttörő munkának, de az első geokronológiai és izotóp geokémiai adatokat éghajlati és környezeti rekonstrukciókban valóban felhasználó tanulmánynak Yonge és MacDonald 1999-es Boreas cikkét tekinteném. Azonban még ennek a tanulmánynak a megjelenése után sem sokasodtak meg a hasonló elemzések. Tulajdonképpen az első nemzetközi jégbarlangkutató műhelytalálkozóval (2004) és az ott meginduló együttműködések nyomán élénkült fel ez a kutatási irány. Barlangi jégen glaciokémiai, különösképp sokelemes geokémiai elemzések máig sem hosszú sorát (~10 cikk) pedig a Vukusic-jégmagról szóló eredmények nyitották meg 2011-ben. Mindezek alapján megalapozottnak tartom állításomat.

A Bíráló hiányolja **„...a kutatást szükségessé tevő probléma megfogalmazását és a megoldásához vezető kutatási kérdések felvetését.”**

**Válasz:** A kutatást szükségessé tevő probléma megfogalmazásáról egy teljes fejezet szól a dolgozatban: *3. A mérsékelt övezet egy kiaknázatlan őskörnyezeti archívumának közelgő elvesztése.*

A 2. fejezetre vonatkozó főbb bírálói kifogás, hogy a fejezet **„alapvetően ismeretterjesztő szinten maradt”** és **hiányzik a korábbi illetve egyéb osztályozásokból hiányzó elemek kritikai elemzése.**

**Válasz:** Ezt a fejezetet akár a bevezetés alfejezetének is lehetne tekinteni. Alapfogalmakat vezettem be, a jégbarlangok működésének alapvető folyamatait ismertettem. Ezek fényében szükségeszerű az ismeretterjesztő jelleg.

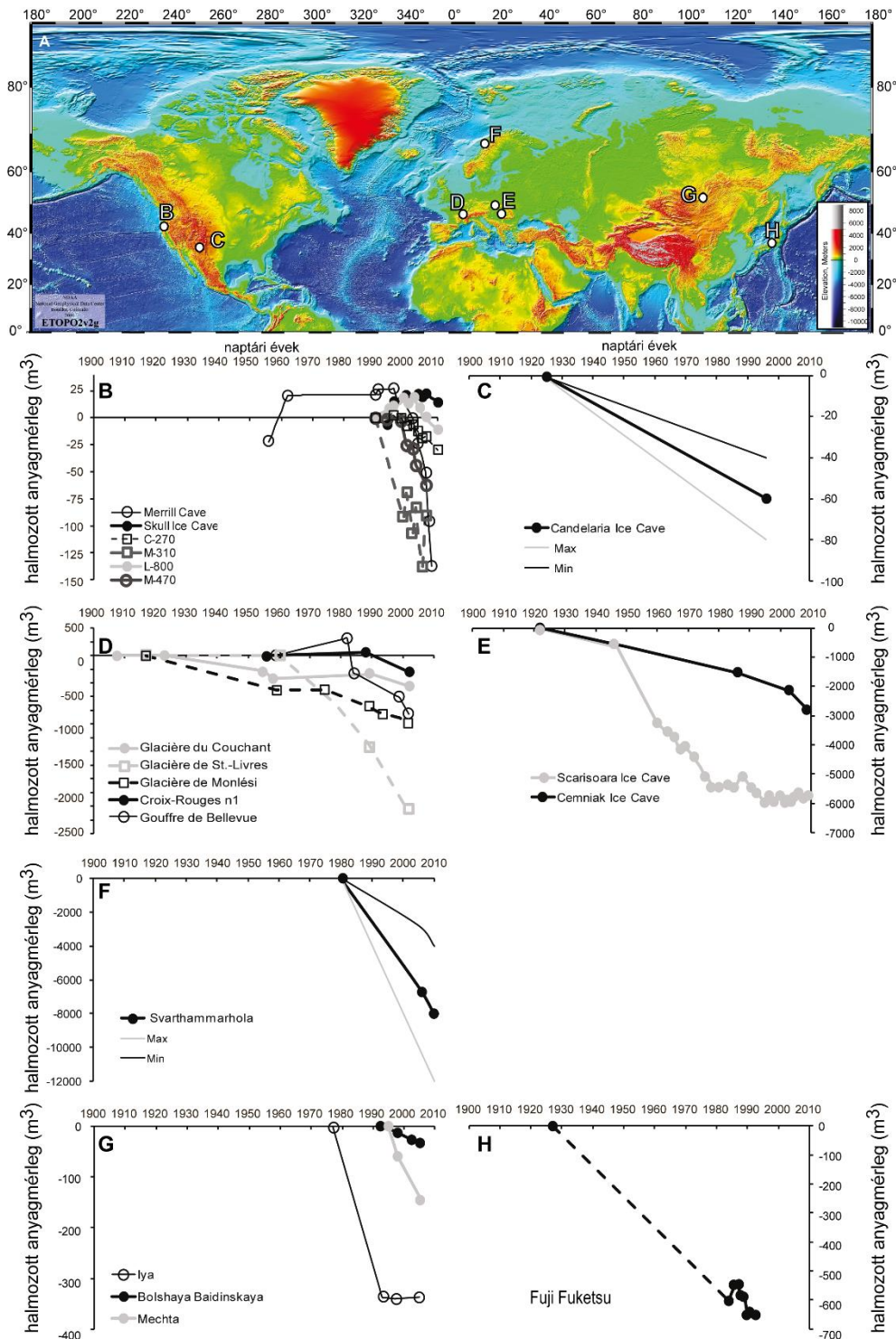
A korábbi legismertebb osztályozások vagy csupán a glaciológiai, vagy csak a cirkulációs jellemzőkre összpontosítottak. A Marc Lüscher által kidolgozott osztályozás szintetizálja ezeket a szempontokat. Ezt igyekeztem kiemelni a 2.2.1 fejezetben, de lehetséges, hogy még egyértelműbben kellett volna fogalmaznom. Léteznek természetesen még egyéb osztályozások is, melyek közül nagyon tömör kritikával említek is kettőt a 11. oldalon a 2.2.2. szakasz első bekezdésében. De ahogy a dolgozatban szerepel is, véleményem szerint ezek feleslegesen túlrészletezők, vagy gyakorlati alkalmazásra alkalmatlanok. Az említett 2.2.2. szakaszban ugyanakkor részletesebben bemutatom Chas Yonge 2014-ben közölt, a barlangi jégüledékek

stabilizotópos jellemzői alapján felállított három-kategóriás osztályozását. Ennek kritikai elemzése ebben a fejezetben tagadhatatlanul nem történt meg, de a fejezet záró mondatában szerepel, hogy az később a 6. fejezetben kerül elő: „...a stabilizotóp-összetétel alapján kialakítható kategorizálás pontosságára teszek majd kísérletet a dolgozat 6. fejezetében.“ Tehát a dolgozat egészét tekintve már megjelenik egyéb jégbarlang-osztályozások kritikai elemzése.

**Válasz a 3. fejezethez megfogalmazott kritikákra:**

A 3. fejezet a korábban hiányolt „kutatást szükségessé tevő probléma megfogalmazása“. A fejezetcímből a hangsúly nem az őskörnyezeti információon van, hanem a „közelgő elvesztésen“, ezért nem „a barlangok jegének geokémiai értékelése“ a fejezet célja. Azt mutattam be, hogy a barlangi jégtömegek világszerte fogyatkoznak. Példákat hoztam olyan barlangokra, amelyekből a 20. vagy a 21. század folyamán már eltűnt a jégüledék s ezáltal a bennük rejtett környezettörténeti információ is elveszett. Ezzel igyekeztem alátámasztani, hogy a barlangi jégfelhalmozódások kutatása nemcsak időszerű, de sürgető is. 2013-as tanulmányunk az első több kontinens több jégbarlangjából származó adatokat összegző elemzés. „Más szerzők korábbi eredményei“-vel ily módon nem lehetett összevetni. Más szerzők korábban egy-egy barlang esetében rekonstruálták a történeti jégtömegváltozást, és ezek közül a meghatározott feltételeknek (12. oldal utolsó sor) eleget tevő adatsorok szerepelnek is az összegyűjtött 19 adatsor között.

A 3. ábrára vonatkozó kritikát elfogadom. Valóban nem látszik egyértelműen az eredeti ábráról, hogy az egyes jégtérfogatcsökkenés-adatsoroknál hány adatból rajzoltam a grafikont. A Bíráló felvetése nyomán elkészítettem az ábrát egy olyan változatban, amelyen látszanak az adatpontok.



Azt gondolom, hogy a fő megállapítás, amelynek a szemléltetésére ezt az ábrát készítettem, hogy „Egy kivételtől eltekintve a rendelkezésre álló több évtizedes barlangi jégtérfogat-történetek mindegyike folyamatosan csökkenő tendenciát mutat.“ az adatpontokat meg nem jelenítő ábraváltozatról is egyértelműen leolvasható. A fő üzenet az, hogy a rekonstruált jégtérfogat (halmazott anyagmérték) a későbbi dátumok felé haladva csökken.

A Bíráló hiányolja az adatok forrását. A 12. oldalon kezdődő és a 13. oldalon végződő mondatban a három földrész legkorábbi adatait külön-külön is meghivatkoztam, de a következő bekezdés végén hivatkoztam a függelékben szereplő F1. táblázatra is, amelyben további 4 referenciát is megadok.

Kérdések és kifogások az 5. fejezethez:

**„Sajnos csak 4 helyszínről származó adatokat mutatott be, holott 9 jégbarlangban dolgozott.”**

**Válasz:** A kimaradó eredmények a PhD fokozat megszerzése előtt születtek, illetve az eredmények egy része (Eszkimó-jégbarlang / Focul Viu; Porcika-akna / Avenul Bortig) a PhD dolgozatban is szerepelt. Az MTA doktori értekezésben a PhD dolgozattal minden átfedést igyekeztem elkerülni, ezért jelen dolgozatban nem használtam fel 2011 előtti kutatási eredményeket.

**„Mindegyik barlangi jégtest bemutatásánál hiányzik, hogy milyen ismeretekkel rendelkeztek az ezekről a területeken lévő jégbarlangokról a jelölt munkásságát megelőzően, és melyek voltak a tisztázatlan kérdések.”**

**Válasz:** A Velebit jégbarlangjairól korábban rendelkezésre álló ismereteket a 21. oldal aljától a 25. oldal tetejéig vettem sorra.

A dachsteini Mammut-barlang jégüledékeiről rendelkezésre álló ismereteket a dolgozat 59. oldalától a 62. oldaláig vettem sorra (5.2.1.1. *A dachsteini Mammut-barlang jelentősebb jégblokkjai* valamint 5.2.1.2. *A dachsteini Mammut-barlang jégüledékeinek felhalmozódási idejére vonatkozó információk és új lehetőségek*). Minden bizonnyal lehetett volna még többet írni erről, de amit a dolgozat eredményeinek értelmezéséhez szükségesnek tartottam, arra vonatkozóan minden ismert adatot és információt bemutattam.

**„Mivel az osztrák és a horvát mintaterületekről származó jégmintákon hasonló módszerrel zajlottak a vizsgálatok, felesleges ezek módszertanát többször megismételni.”**

**Válasz:** Egyetérték a megjegyzéssel. Éppen ezért egyetlen esetben sem ismételt meg olyan módszertani leírást, ami korábban már ismertetve volt, hanem visszahivatkoztam a megfelelő alfejezetre.

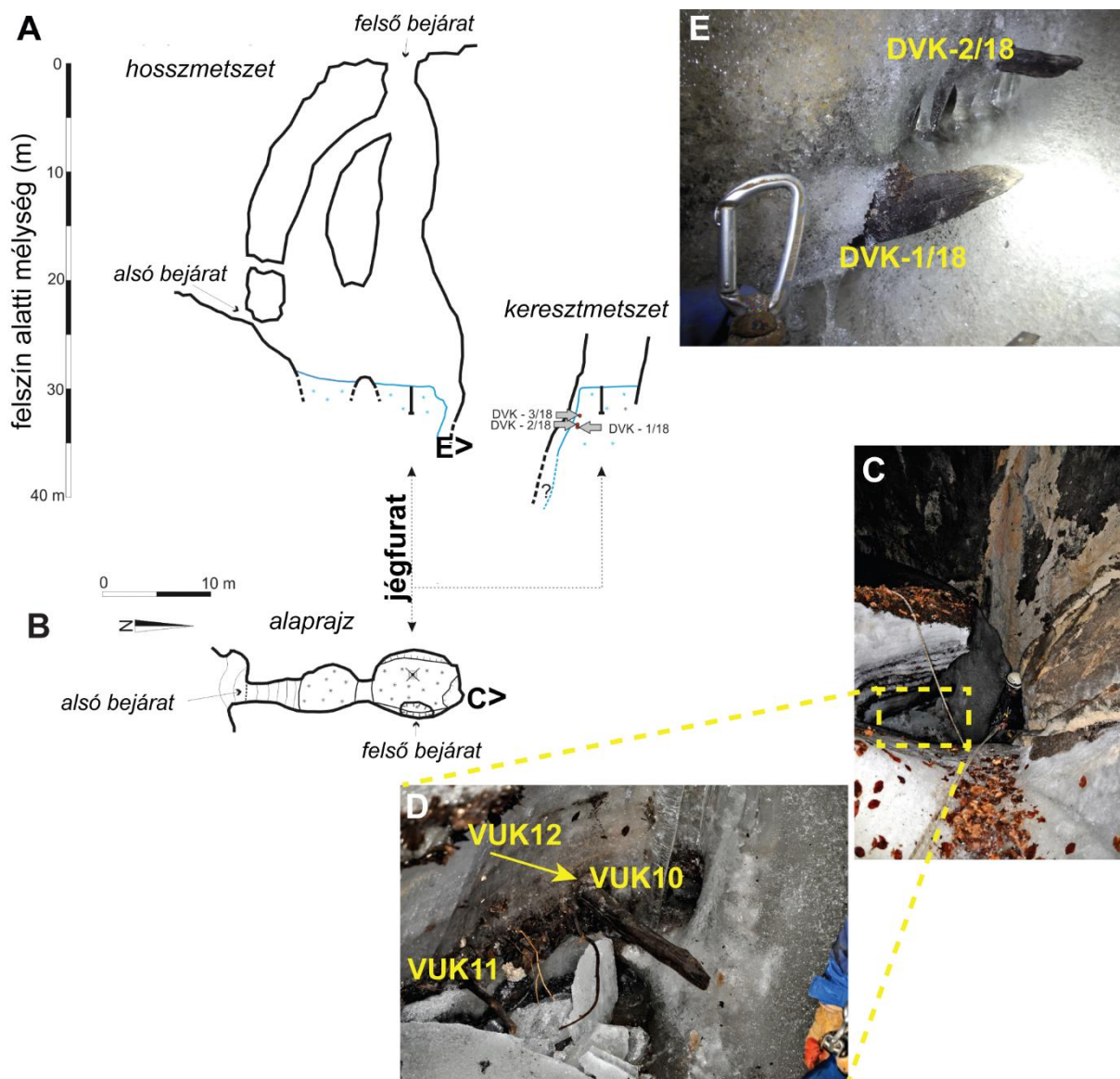
**„Sajnos nagyon sokszor nehéz a szöveget követni, mivel sok helyi (nem feltétlen releváns) információt tartalmaz, vagy nincs alátámasztva ábrával. Egyes mintavételi helyek vagy az egyes módszerek túlzott részletességgel vannak leírva (pl. 5.1.3.1.2-4 fejezetek),...”**

**Válasz:**

A korábbi nagydoktori védések tapasztalatai között szerepel olyan példa, amely esetben a védés sikertelenül zárult és a Bizottság fő kritikája az volt, hogy a módszerek leírása nem elég részletes és ezért nem lehetséges az alapján megítélni, hogy mi az, amit valóban a jelölt maga végzett el. Ezért döntöttem a részletes módszertani leírások mellett.

**„...ugyanakkor máskor teljesen hiányoznak, így nem segítik a szöveg megértését. Például nem elég a szövegben feltüntetni a minták számát, kellene egy helyszínrajz is, amin az egymáshoz képest való elhelyezkedésük látszik (pl. 7. ábra).”**

**Válasz:** A Kugina és Ledena esetében a rétegtani kapcsolatban lévő minták helyzete megismerhető a 6. ábra alapján. A Vukusic-jégbarlangból 2018-ban gyűjtött 3 minta helyzete az említett 7. ábrán a „keresztmetszet“ nevű panelen látható. Az igazán problémásak az északi jégfalnál gyűjtött minták. Itt a 2008-as minta pontos helyzetét nem dokumentálták, a 2012-es minták közül a két nagyobb ág jól azonosítható a D panelhez választott fotón. A harmadik mintát, a VUK12-t nem tudtam pontosan azonosítani a képen, ezért nem jelöltem. Ez az egyetlen minta, amely a 7. ábra dolgozatban szereplő változatán nem volt feltüntetve. De a terepi jegyzőkönyv alapján - ez a szövegben is szerepelt - VUK12 kb. 3 cm-rel VUK10 felett helyezkedett el. A Bíráló kifogás nyomán módosítottam a 7. ábrát és bejelöltem a VUK12 minta hozzávetőleges helyzetét.



„Az eredmények is helyenként túlzó részletességgel kerültek bemutatásra, holott már egy cikkben sem javasolt, hogy a táblázat adatait a szövegben leírják (pl. 3. táblázat).”

**Válasz:** A megjegyzéssel alapvetően egyetértek, ugyanakkor véleményem szerint a megérthetőséget segítheti, ha a legfontosabb adatok a szövegben is megjelennek, annak ellenére, hogy táblázatban vagy ábrán is szerepelnek. Az említett 3. táblázatban alább sárgával jelöltem meg azokat az adatokat, amelyeket a szövegben is említék. A táblázatban közölt 40 adat közül csupán 11 szerepel a szövegben.

3. táblázat: A Vukušić-jégbarlang és a Ledena-akna jégüledékének, valamint a velebiti csapadék stabilizotópos jellegének jellemző alapstatisztikái

	minta (db)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		d-többslet (‰)		$s^a$	
		átlag	min/max	átlag	min/max		
jég	Vukušić-jgb.	36	-9,94	-11,97/-8,02	13,5	9,7/18,1	7,80
	Ledena-akna <sup>b</sup>	9	-8,38	-10,25/-6,74	9,0	3,6/14,1	5,40
	átlag	44	-9,79 <sup>c</sup>	-10,19/-9,16 <sup>d</sup>	15,6 <sup>c</sup>	13,8/17,4 <sup>d</sup>	8,02
csapadék	nyár	22	-8,60 <sup>c</sup>	-9,47/-6,93 <sup>d</sup>	16,2 <sup>c</sup>	12,7/18,1 <sup>d</sup>	8,21
	tél	22	-10,59 <sup>c</sup>	-12,65/-8,51 <sup>d</sup>	15,1 <sup>c</sup>	11,8/19,5 <sup>d</sup>	7,83

a: a  $\delta^{18}\text{O}$  –  $\delta^2\text{H}$  lineáris kapcsolatot jellemző meredekség

b: Horvatinčić, 1996 adatai alapján

**Mivel egyes barlangokban a felszínről a víz és hideg levegő beszivárgása/befolyása is fontos tényező, vajon van-e kapcsolat a barlanghoz tartozó víz(levegő)gyűjtő és a jégtest dinamikája között?**

**Válasz:** Igen, kell, hogy legyen kapcsolat. Például a jég kialakulásához és megtartásához nélkülözhetetlen feltétel fagypont alatti felszíni léghőmérsékletek tartós előfordulása a barlanghoz tartozó levegőgyűjtő területen legalább az év egy részében. Ha a fagypont alatti léghőmérsékletek előfordulása csökken a felszínen, akkor az a jégtest sokéves dinamikájában jég tömegvesztéshez vezet.

**Mi jelezheti a jégben lévő szervesanyag áthalmozódását, hiszen a barlangba bekerült anyag már eleve áthalmozódott?**

**Válasz:** Igen, természetesen a jégben lévő szerves anyag nem a jégben keletkezett. Az áthalmozódás alatt azt értettem, hogy a szerves anyag nem az eredeti településnek megfelelő rétegtani helyzetben van. Az áthalmozottságra utaló egyszerű, megfigyeléssel azonosítható jelet nem tudok mondani, de a radiokarbon eredmények esetén a relatív rétegtani helyzetnek nem megfelelő radiometrikus kor jelezheti a vizsgált minta áthalmozódását.

**Milyen hidrológiai kapcsolat van a karsztos táj talajvíze és a barlangi jég között?**

**Válasz:** A számunkra ismerősebb környékbeli mérsékeltövi környezetben a beszivárgó víz a barlangi jégképződmények anyagutánpótlásának az egyik, sok esetben a fő forrása. De például az örökfagy zónában található jégbarlangok, pl. Plateau Mountain, Ice Trap-jégbarlang esetében szerintem semmilyen hidrológiai kapcsolat sincs a talajvíz és a barlangi jég között.

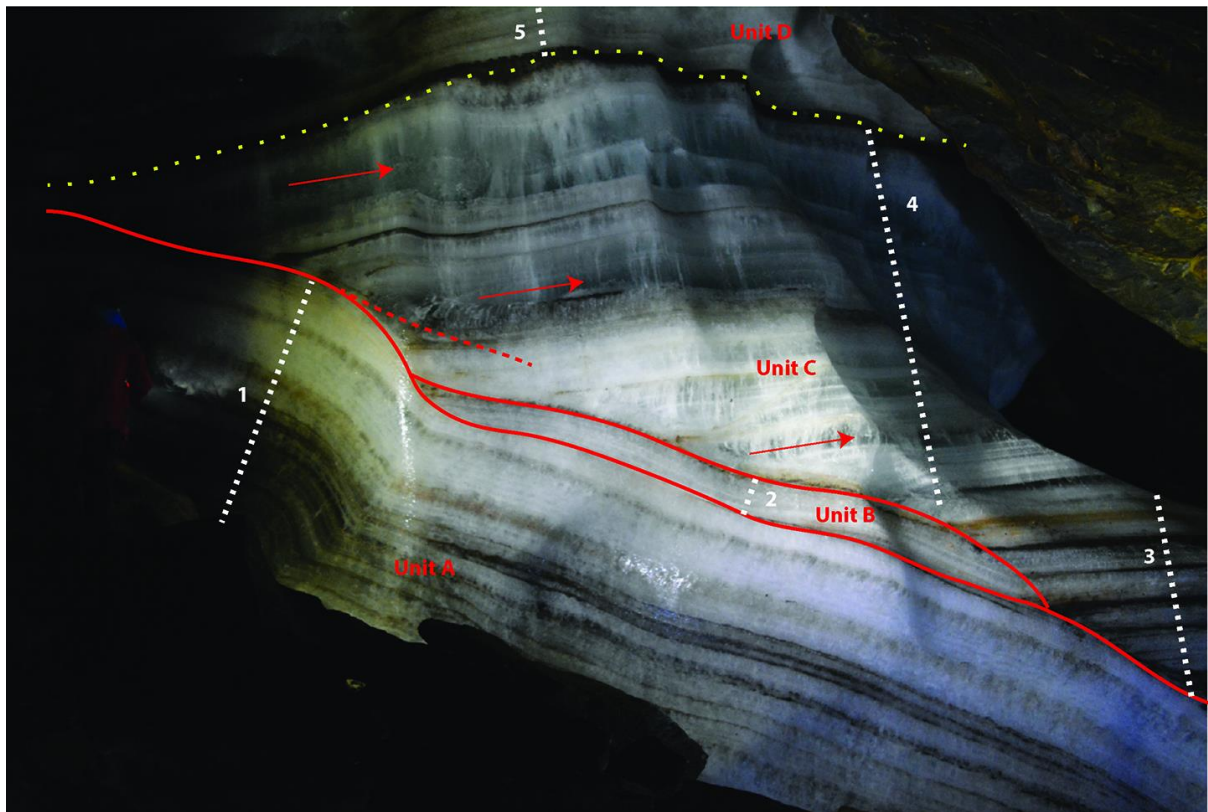
**Mit ért a jelölt azon, hogy „a jégblokkoknál megfigyelt komplex rétegtanban rejlő kihívások”? Hogyan lehet az ebből eredő hibákat kiküszöbölni?**

**Válasz:** Arra utaltam, hogy az összletben jelentős eróziós diszkordanciák jelentkezhetnek, a jégblokk megbillenésével szögdiszkordanciák is kialakulhatnak. Ilyen helyzetben az üledékfelhalmozódás történetének rekonstruálása, amely a kinyert környezeti információk alapján környezettörténeti rekonstrukcióhoz szükséges, bonyolult lehet.

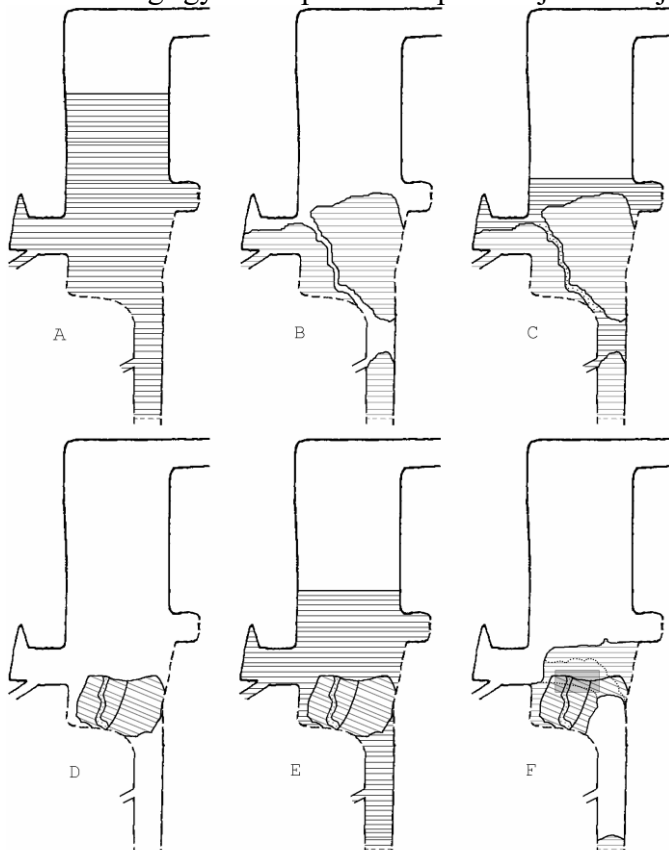
A problémákat a rétegtani viszonyok részletes felmérésével és a rétegtant figyelembe vevő mintavételezéssel lehetséges mérsékelni.

Pl. a Svarthammarhola jégfala: A folytonos piros vonalak és a sárga pöttyözés az eróziós diszkordanciákat jelölik. Az egy jégképződési időszakban felhalmozódott jégrétegeket nagybetűk azonosítják. A fehér pontozott vonalak az optimális mintavételi startégiához javasolható mintavételi helyeket jelölik az üledékfelhalmozódás szakaszait követő sorszámozással. (fotó Aurel Perşoiu)





Egy számomra mintaértékű példa, ahogyan Michele Citterio a rétegtani összefüggések alapján rekonstruálta a Bergamói-Alpok 1650 jelű barlangjában található P50 jelű jégblokk esetében az abláció és a felhalmozódás relatív történetét. Az első jégkitöltést az A panel a 2000-es évek első felében megfigyelt állapotot az F panel rajza mutatja:

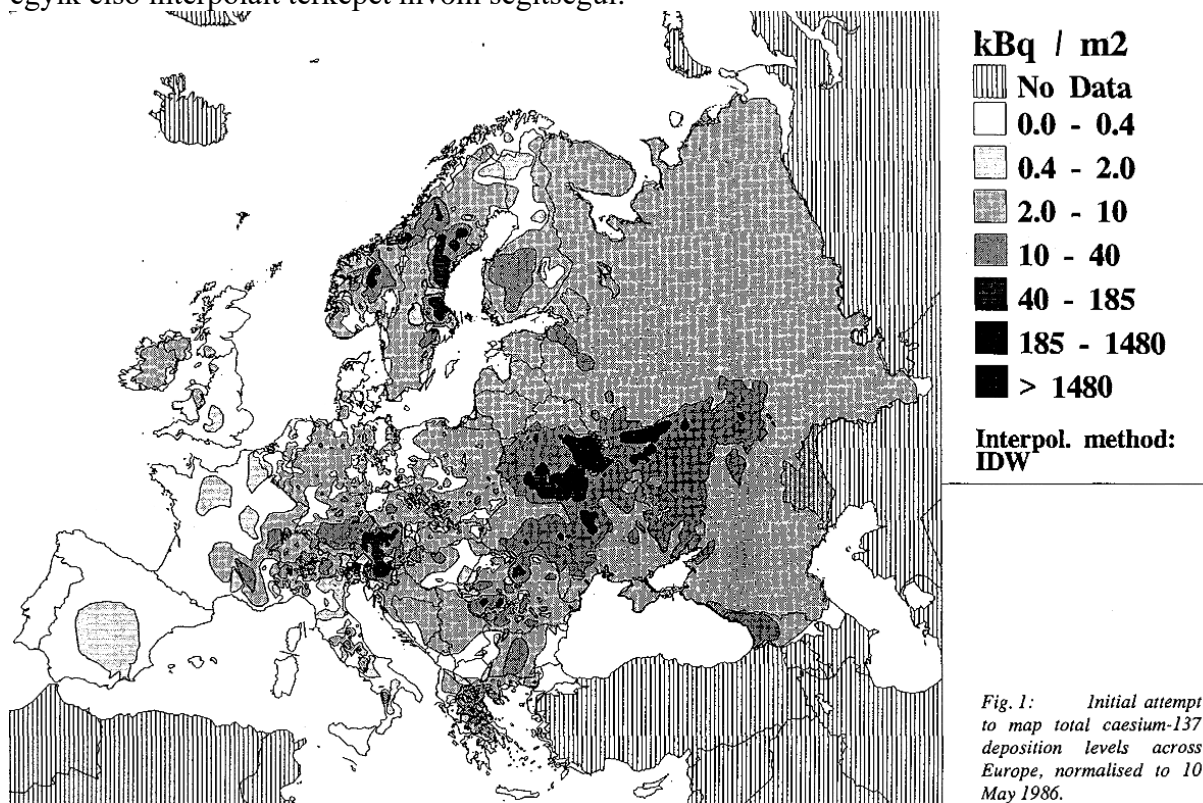


Elég furcsa megállapítás, hogy „az „okkersárga iszap” pedig agyagként azonosítható”, mivel az iszap és az agyag két jól elkülöníthető szemcseméreti kategória.

**Válasz:** A kritikát elfogadom. Az „okkersárga iszap” az „ochre mud” fordítása. Ezt egy szemrevételezés alapján született elnevezésként vezették be az Eisriesenwelt jégfuratban észlelt szilárd fázisok leírásánál. A hasonló megjelenés miatt a 2011-es cikkben átvettem az elnevezést és itt pedig iszapnak fordítottam, ami szakmailag kifogásolható, zavaró megállapításhoz vezetett. A bírálói észrevétel nyomán a 64. oldalon bevezetett **b** kategória elnevezését „okkersárga üledék”-re javítanám.

**Van-e tényleges kapcsolat a csapadékban és a jégben mért kémiai elemek között, ha a mérési pontok több száz (300-570 km) kilométerre vannak egymástól?**

**Válasz:** Vannak olyan kémiai elemek, amelyekről azt gondolom, hogy nincs kapcsolat a csapadékban mért koncentrációkkal, koncentrációváltozásokkal. A legkarakteresebb csoport a karbonátos kőzetben elhelyezkedő barlangi jégtestek esetén a kalciummal szorosan korreláló elemek. De lehetnek olyan elemek is, amelyek a csapadék eredetű jégüledékben megőrzik csapadékra jellemző kémiai információt. Így a kérdés véleményem szerint valójában az, hogy van-e (lehet-e) tényleges kapcsolat a csapadékban mért kémiai elemek között, ha a mérési pontok több száz kilométerre vannak egymástól. A kérdésre a válasz, hogy igen, lehet. Az állításom támogatására az európai légköri ülepedés 1986 májusi <sup>137</sup>Cs aktivitás- koncentráció egyik első interpolált térképét hívom segítségül:



Tehát a kérdés, hogy van-e tényleges kapcsolat az 1986 májusában egymástól több mint 2000 km-re elhelyezkedő Athén és Stockholm környékén észlelt, a légköri ülepedés korábban szokásos szintet jóval meghaladó <sup>137</sup>Cs aktivitás koncentráció-emelkedés között? Igen, közös a forrás. Az Athéntól ~1500, és a Stockholmtól ~1200 km-re elhelyezkedő csernobili atomerőműben történt baleset során a légkörbe jutott nukleáris szennyezés.



**Mennyire lehet alkalmazni a modern csapadék-kémiai adatokat olvadóban lévő barlangi jegeknél, amelyek jege korábban halmozódott fel?**

**Válasz:** Fenntartásokkal és körültekintően.

**Milyen „szimulációt” végzett a barlangi jégben lévő  $H^3$  csúcs vizsgálatára?**

**Válasz:** A barlangi jégben lévő  $^3H$  csúcs vizsgálatára végzett szimulációkról a dolgozat 78. oldalán van szó. A dolgozatban a 19. ábra szemlélteti a vonatkozó eredményeket.

Az első a tríciummentes vízforrással (pl. régi karsztvízzel) való állandó és egyenletes hígítás hatását szimulálta.

A másik esetben a beszivárgás során a karsztos tározóban többéves keveredést szimuláltam, három változatban simítva (3-, 6- és 12-éves mozgóátlag) a bomlással korrigált regionális havi csapadék  $^3H$  szintjét.

Budapest, 2024. 06. 20.



---

Kern Zoltán