



Az Aggteleki-karszt forrásvizeinek hidrokémiai csoportosítása többváltozós statisztikai módszerekkel

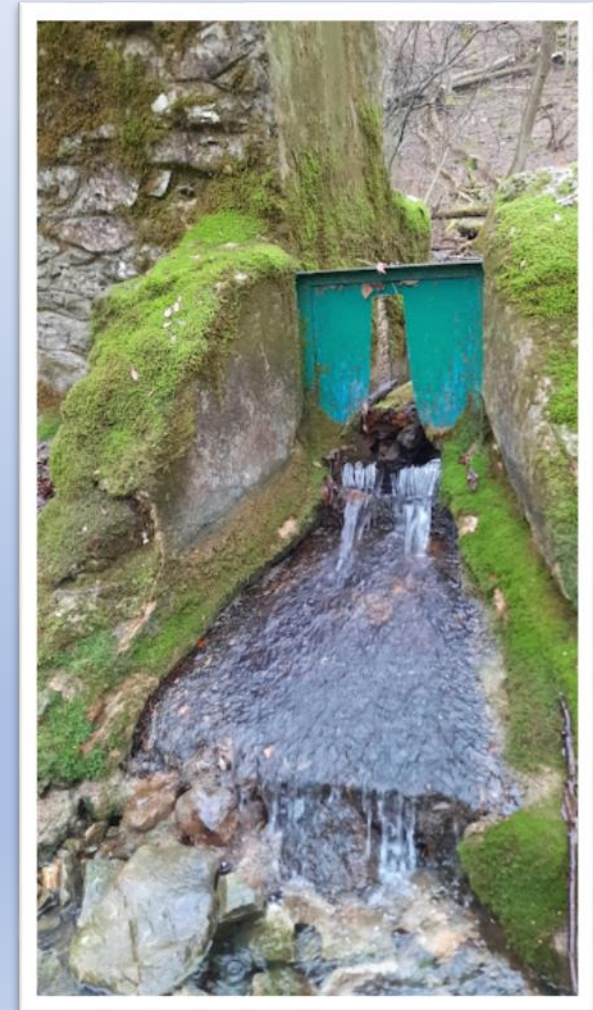
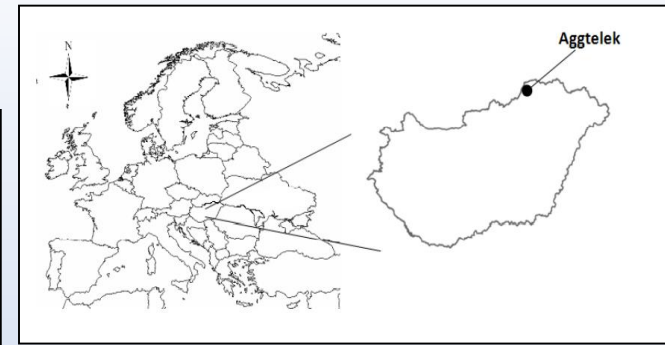
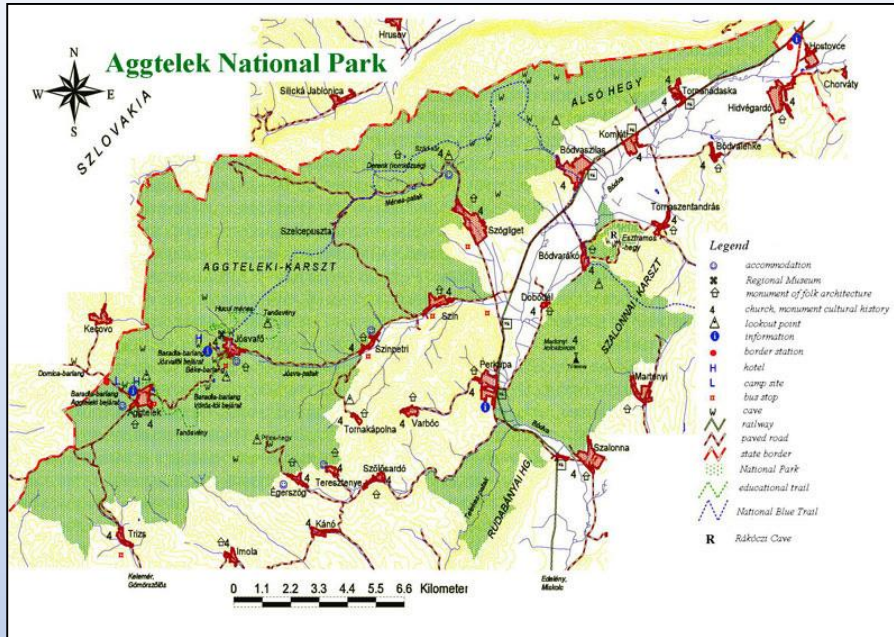


Czuppon-Lázár Márta

Kovács József, Dobosy Péter, Biró Lóránt, Stieber József, Gruber Péter, Czuppon György

Felszín Alatti Vizekért Alapítvány XXXII. Almássy Endre konferencia a felszín alatti vizekről - 2026. Május 5. Siófok

A kutatási terület bemutatása



A Gömör–Tornai-karszt
Kiterjedt karbonátos kőzetek
(mészkö, dolomit)
Jól fejlett karsztos formák
barlangok
töbrök, víznyelők, források

Miért van szükség többváltozós statisztikai módszerekre? (CCDA)

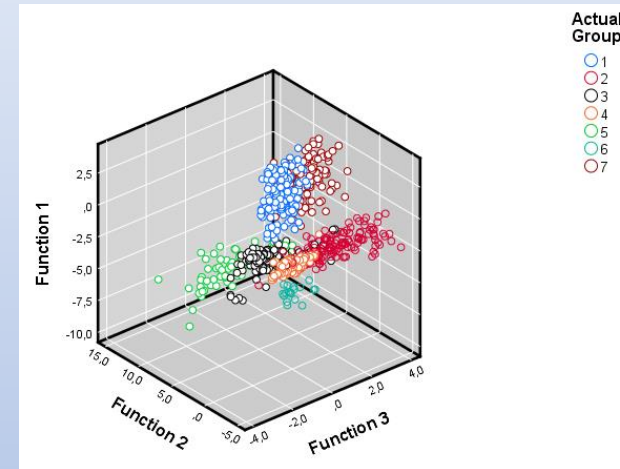
- Komplex, nagy dimenziójú adatok /adatbázisok csoportosítása
- Finom hidrokeokémiai különbségek
- Rejtett mintázatok feltárása

Előnyök:

- Strukturált, adatvezérelt elemzés
- Objektív csoportképzés (nem szubjektív klaszterszám)
- Statisztikai validáció → a csoportok megbízhatóságának ellenőrzése

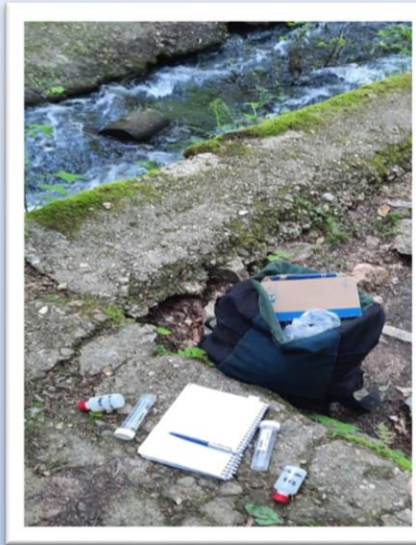
Cél:

- Hasonló víztípusok objektív és validált elkülönítése/csoportosítása

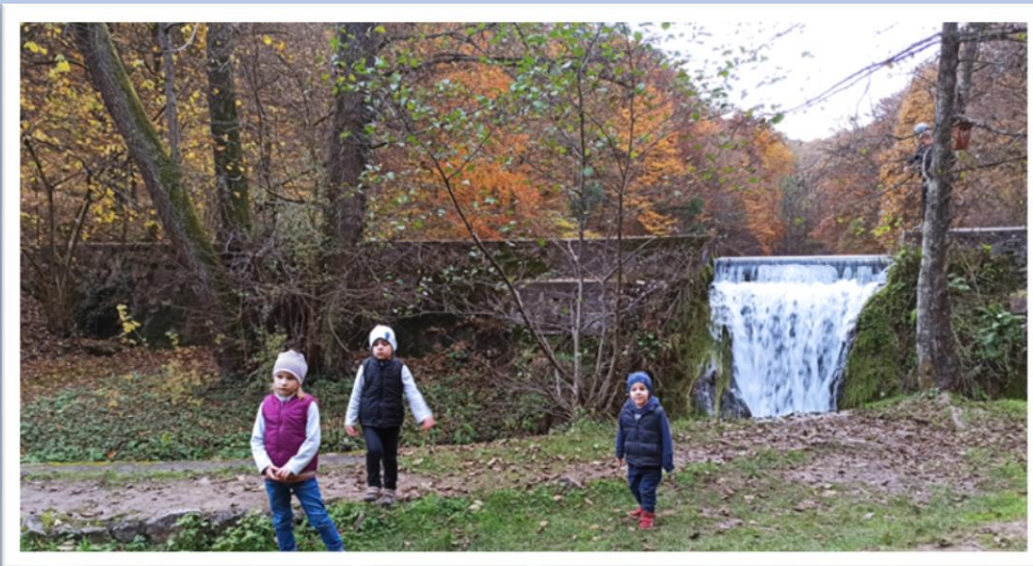
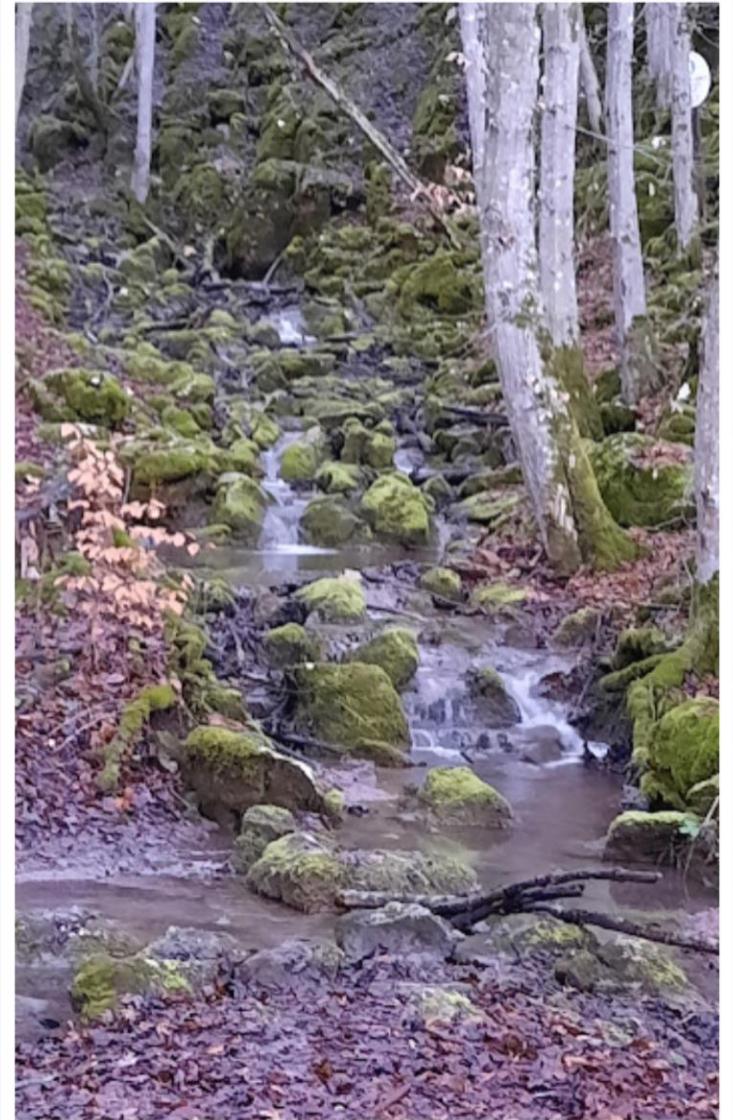


- 1-3. Jósvafő-források: - Hosszú-alsó-barlang
- Rövid-alsó-barlang
- Csőforrás

4. Nagy-Komlós
5. Kis-Komlós
6. Serház
7. Nagy-Vecsem
8. Kis-Vecsem
9. Pasnyag
10. Nagy-Tohonya
11. Kis-Tohonya



Monitoring pontok



Mérések

2020 November

- **Terepi mérések:**
 - pH
 - Elektromos vezetőképesség
 - Hőmérséklet

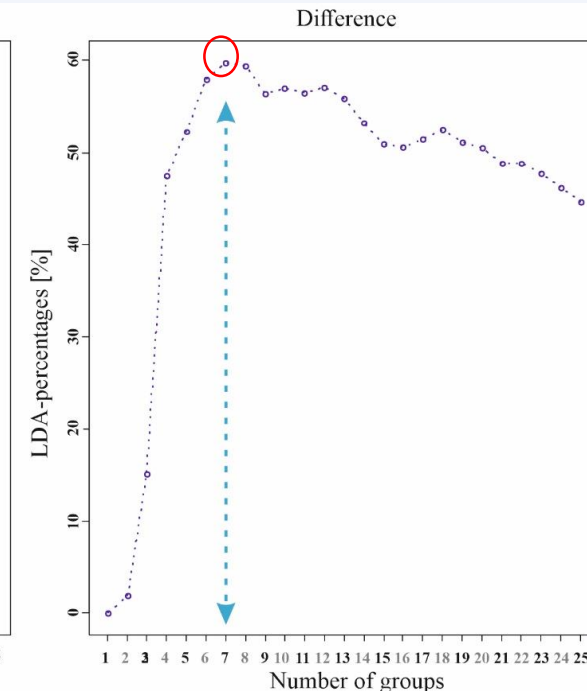
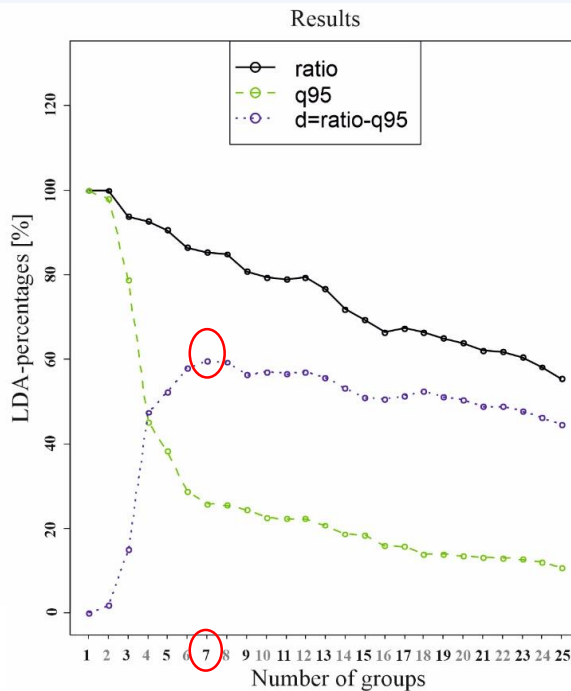
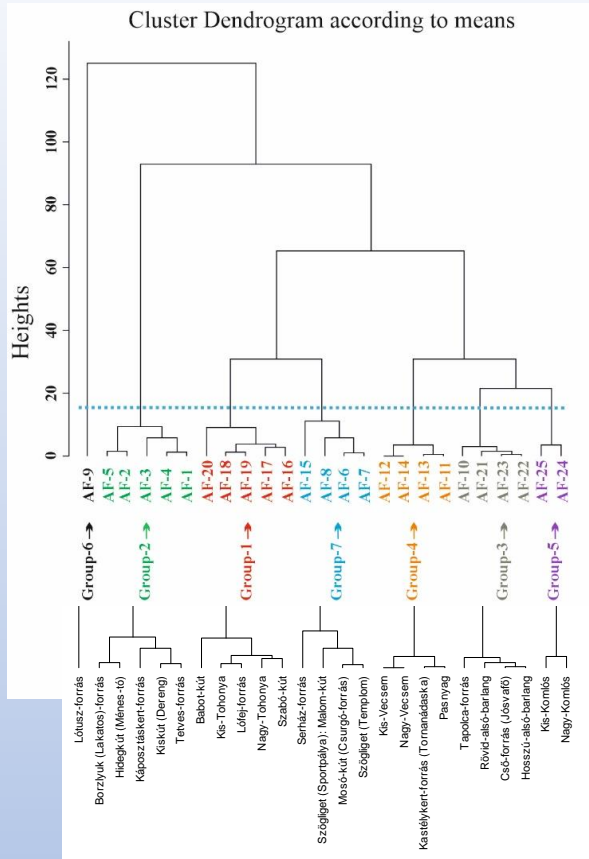


Labor:

- Stabil-izotop: $\delta^{18}\text{O}$, δD
- Anion and kation
 Na^+ NH_4^+ K^+ Mg^{2+} Ca^{2+}
 Cl^- SO_4^{2-} NO_3^- HCO_3^-
 CO_3^{2-}

VIZSGÁLT FORRÁSOK

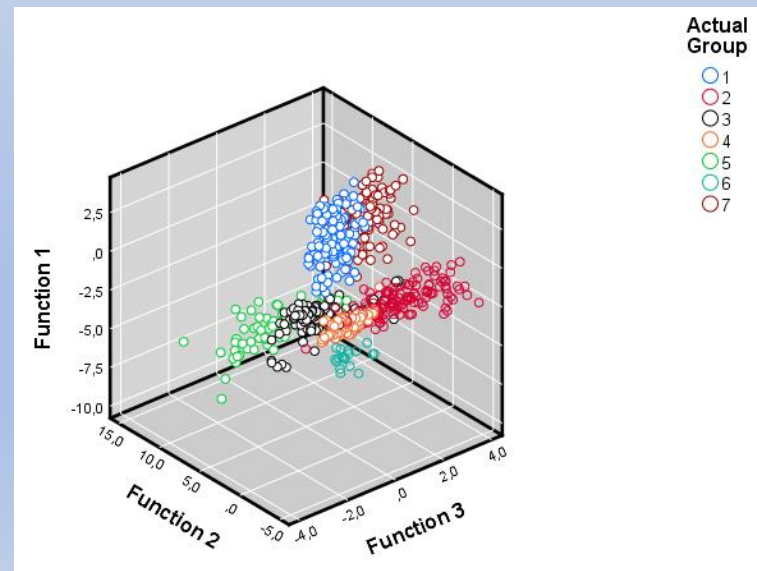




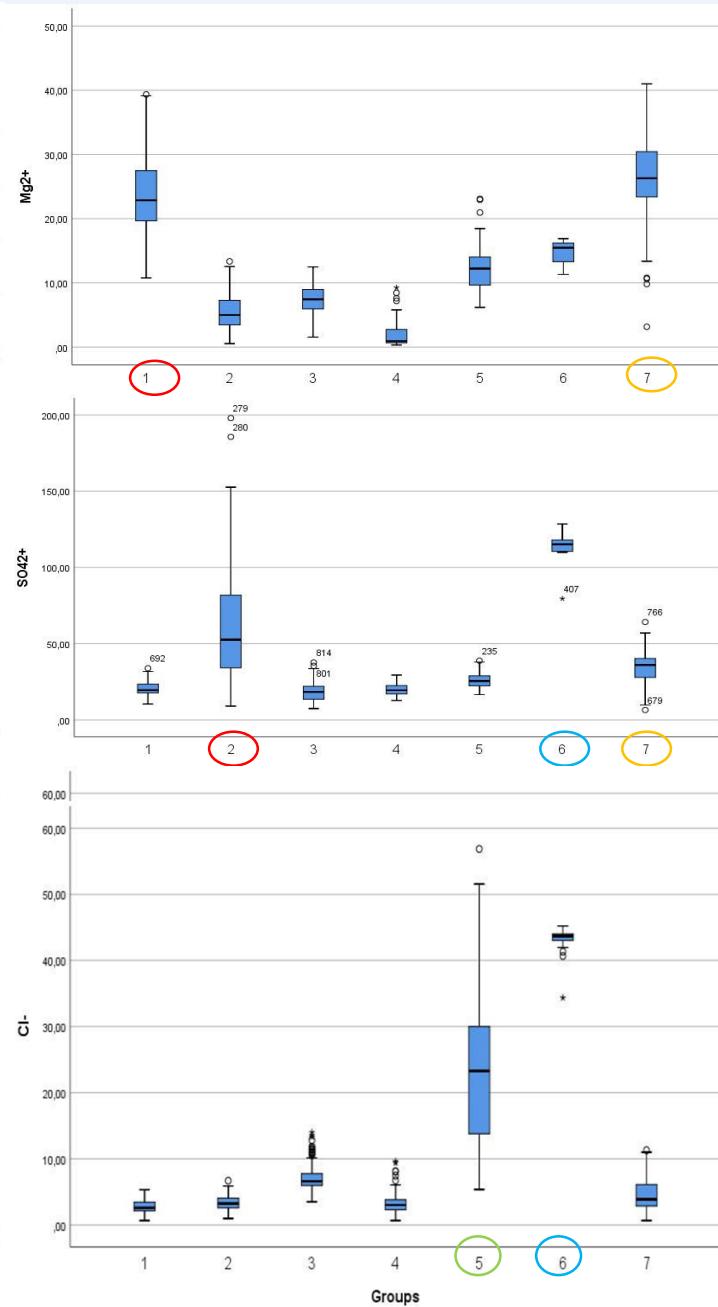
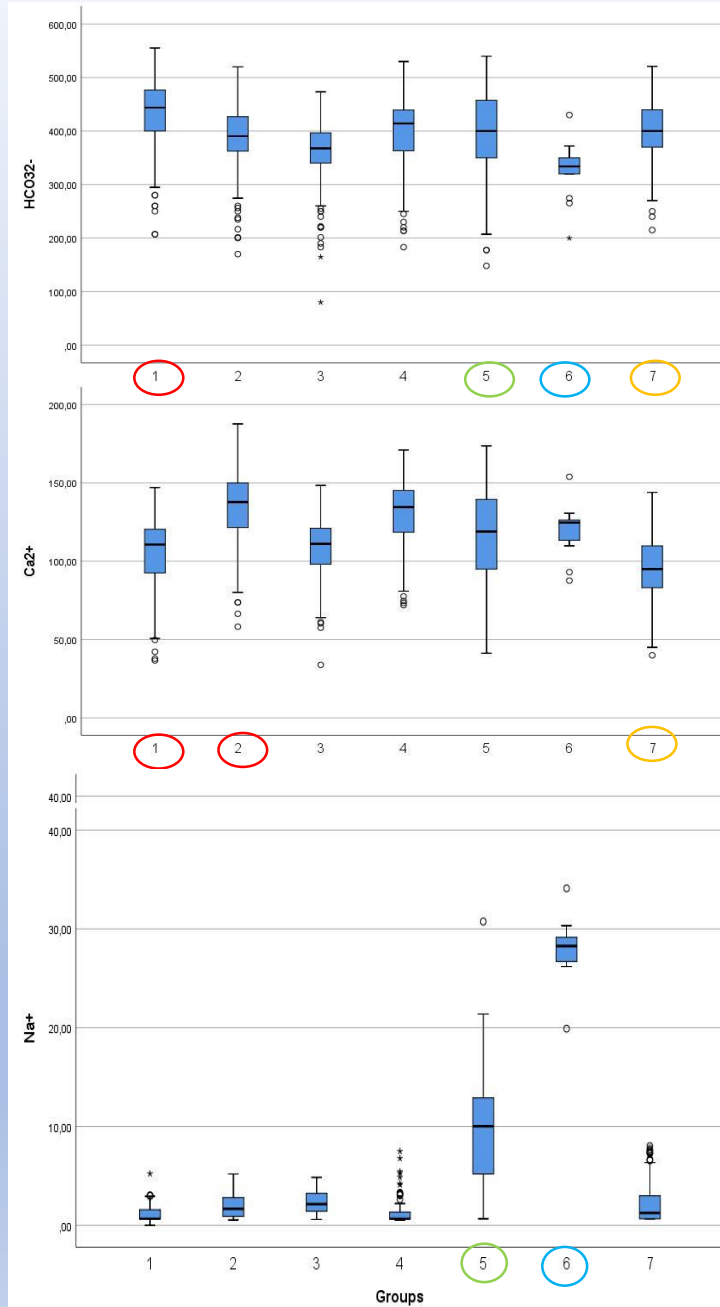
Optimális klaszterszám: 7

A CCDA kiválasztja azt a klaszterszámot, ahol a csoportok a legjobban elkülönülnek.”

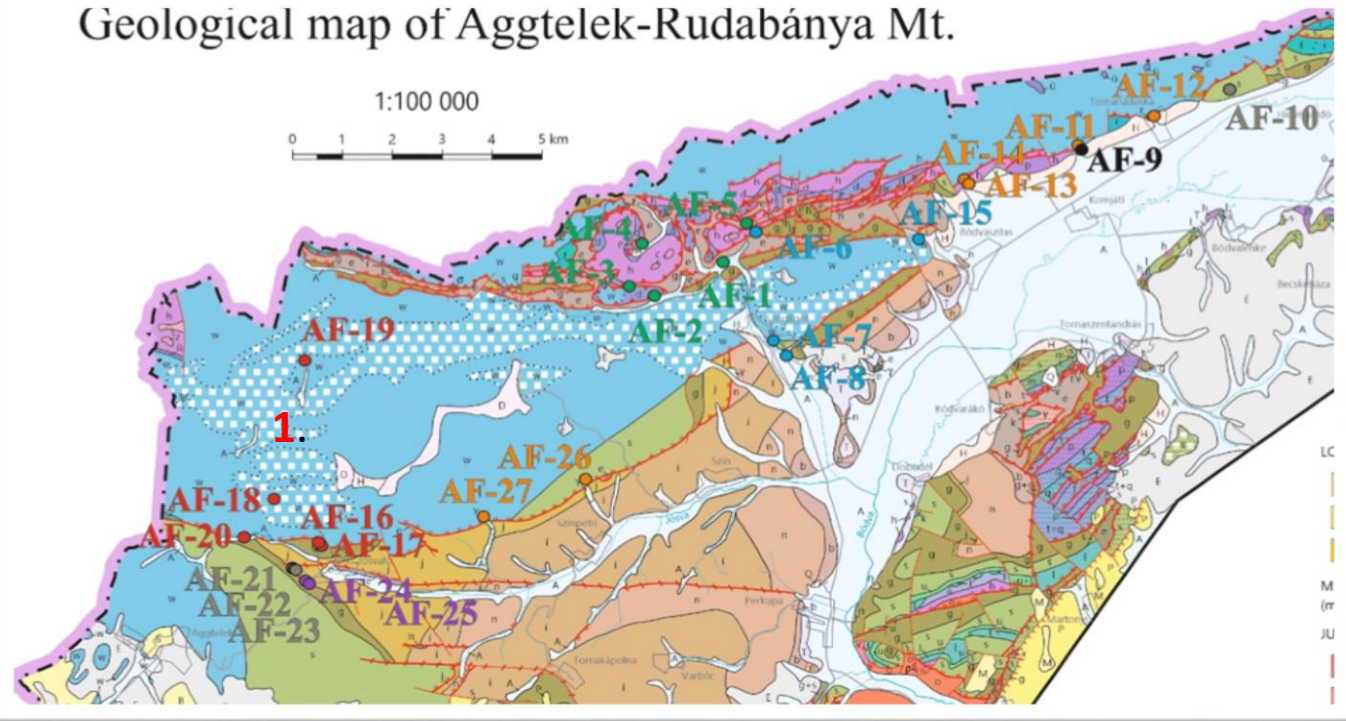
Az optimális csoportorszám ott adódik, ahol a valódi csoportosítás a legnagyobb mértékben haladja meg a véletlen felosztásból adódó pontosságot (d maximum).”



Box and whisker plot – fő ionok eloszlása csoportonként

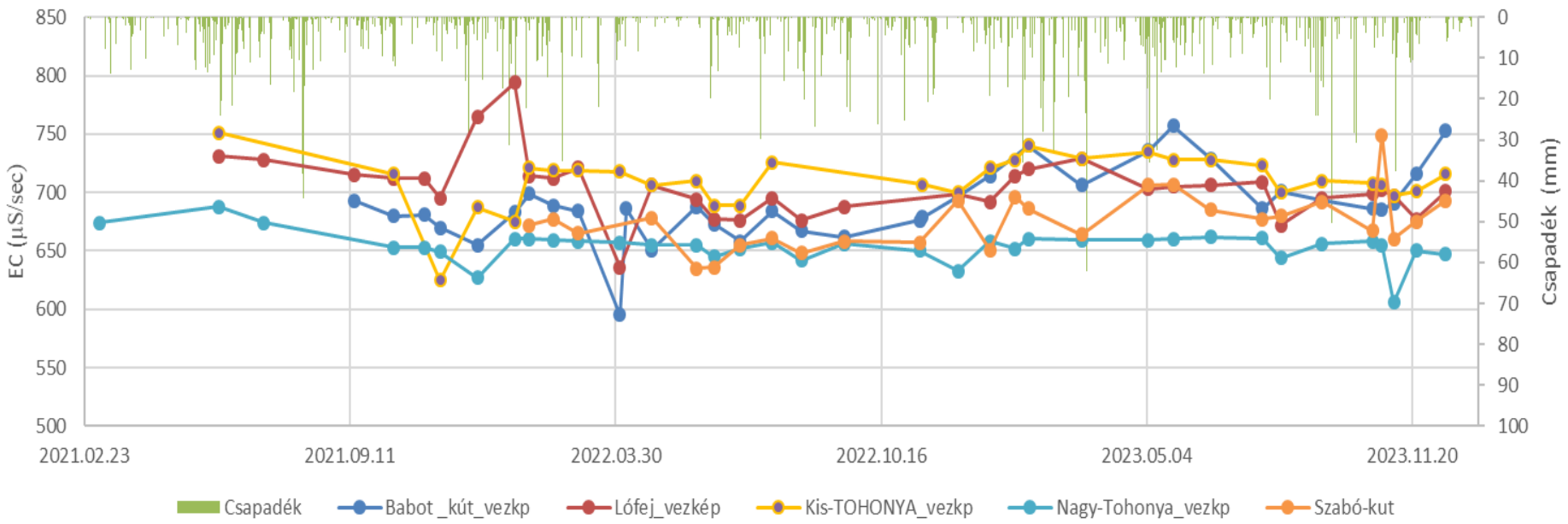
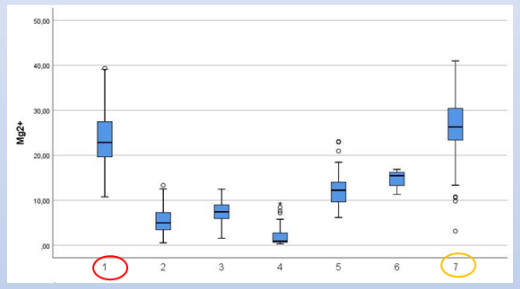


Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



1. csoport:

Szabó-kút (AF-16),
Nagy-Tohonya (AF-17),
Kis-Tohonya (AF-18),
Lófej (AF-19),
Babot-kút (AF-20)



1. Csoport

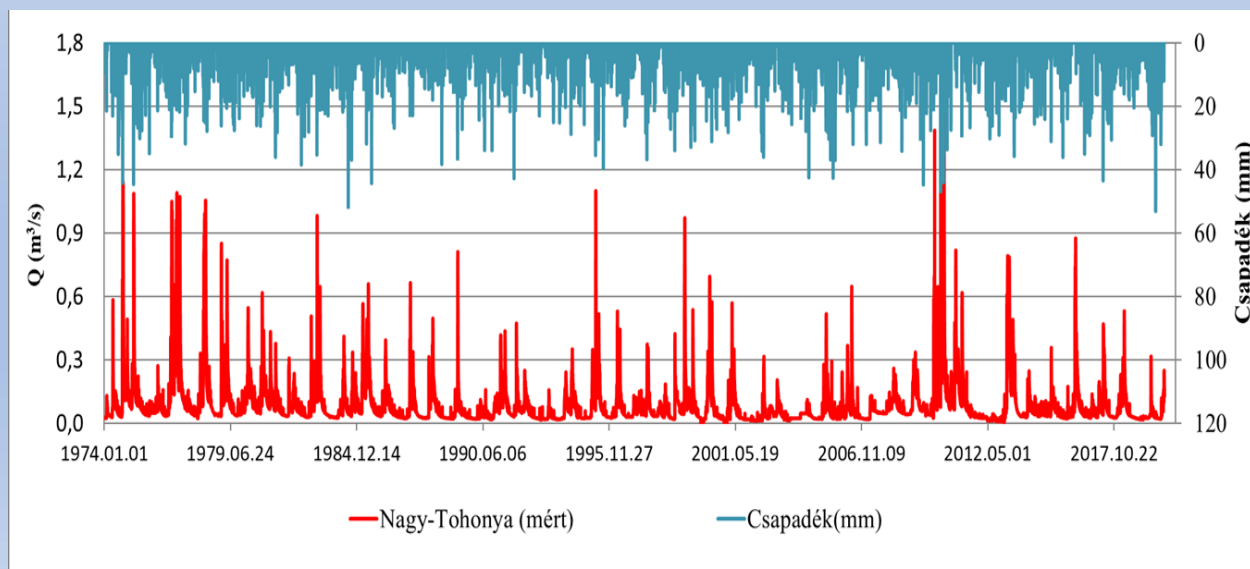
1.csoport Nagy-Tohonya	Csapadék mennyiség	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d- többlet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)	NO3- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	Vízhozam L/min
Csapadék mennyiség	1,000																
Napi átlag T	0,157	1,000															
pH	-0,224	-0,605	1,000														
T	-0,157	-0,015	0,613	1,000													
vezkep	-0,105	0,135	-0,132	-0,106	1,000												
dD	0,203	-0,181	-0,465	-0,754	-0,055	1,000											
d18O	0,038	-0,202	-0,201	-0,440	-0,360	0,614	1,000										
d-többlet	0,197	0,045	-0,189	-0,146	0,443	0,338	-0,540	1,000									
Na+ (mg/L)	-0,481	-0,435	0,662	0,334	0,180	-0,277	-0,202	0,031	1,000								
K+ (mg/L)	-0,141	-0,275	0,403	0,318	-0,008	-0,036	0,177	-0,199	0,555	1,000							
Mg2+ (mg/L)	0,124	0,177	0,476	0,819	0,055	-0,503	-0,399	-0,054	0,078	0,063	1,000						
Ca2+ (mg/L)	-0,117	0,014	-0,242	-0,218	0,279	-0,004	-0,017	0,016	0,029	-0,400	-0,429	1,000					
Cl- (mg/L)	-0,274	-0,181	0,151	0,016	-0,034	0,010	0,076	-0,094	0,233	0,839	-0,226	-0,208	1,000				
SO42- (mg/L)	-0,241	0,108	-0,077	-0,236	0,121	0,069	0,198	-0,163	0,275	0,682	-0,214	0,010	0,691	1,000			
NO3- (mg/L)	-0,226	-0,192	0,480	0,471	0,022	-0,378	-0,241	-0,117	0,484	0,511	0,308	0,015	0,386	0,467	1,000		
HCO3- (mg/L)	-0,080	-0,037	0,000	-0,049	0,243	-0,222	-0,237	0,048	0,136	-0,429	-0,163	0,890	-0,266	-0,112	0,044	1,000	
Vízhozam L/min	0,054	-0,085	-0,429	-0,790	-0,323	0,564	0,610	-0,119	-0,454	-0,348	-0,658	-0,638	-0,057	0,062	-0,449	-0,182	1,000

Nagy-Tohonya: impulzív, gyors

Ca-HCO₃ alapjel: karbonátos oldódás

Vízhozam ↑ → T, Mg²⁺, csökken: hígulás / friss utánpótlás

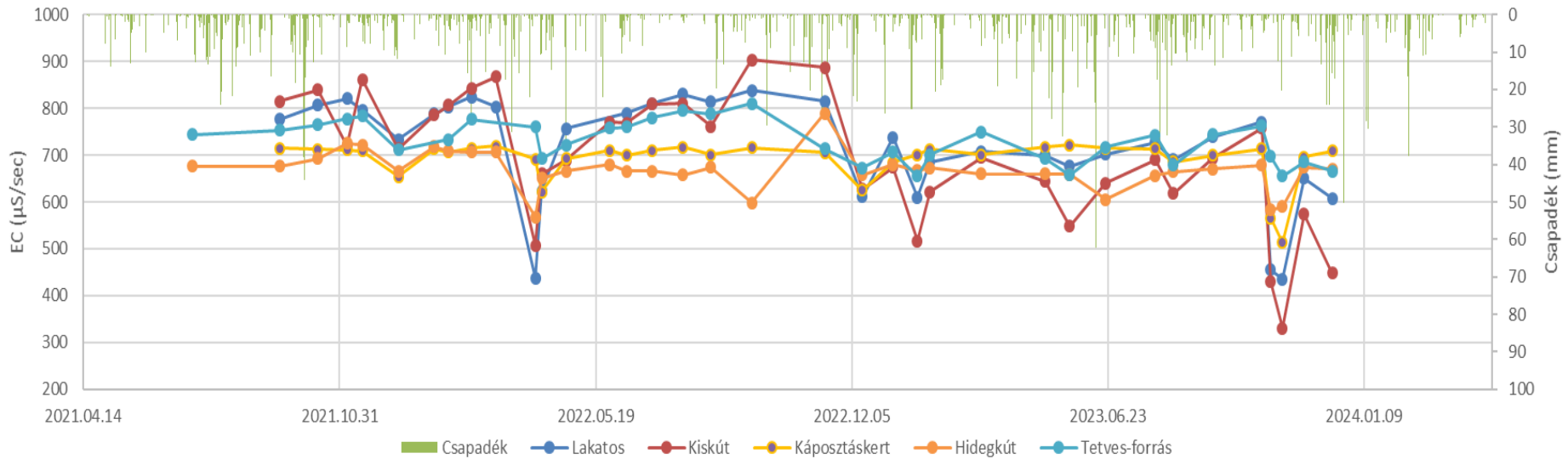
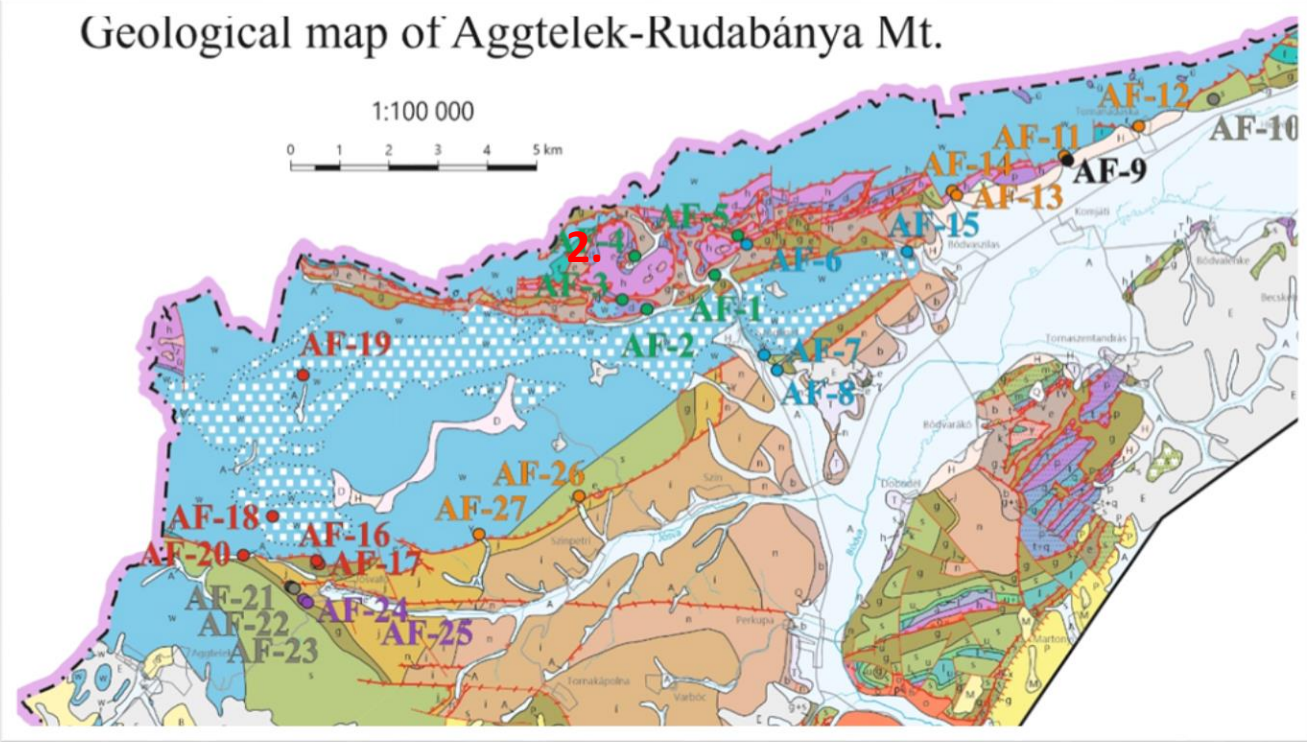
Értelmezés: gyors konduktos áramlás, kis tározókapacitás, impulzív válasz



2. csoport:

Kiskút (AF-4),
Lakatos(AF-5)
Káposztáskert
(AF-3),
Hideg-kút (AF-2),
Tetves (AF-1),

Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



2. Csoport

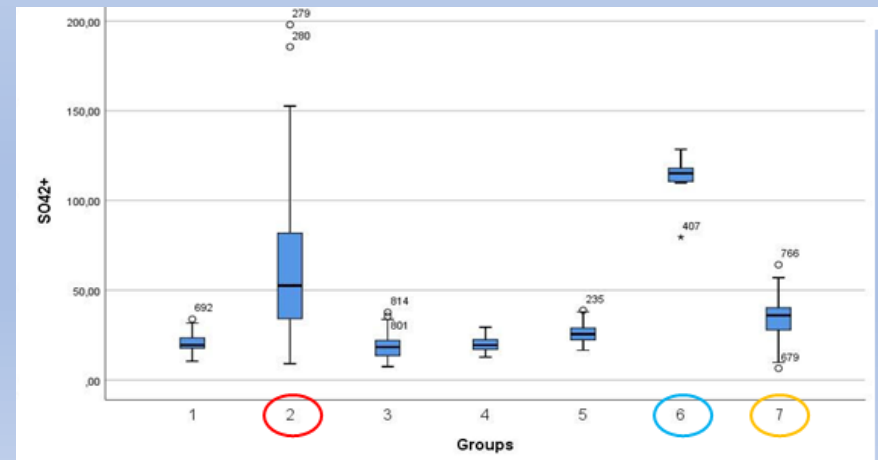
2. Csoport Kiskut	Csapadék mennyiség	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d-többlet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)	NO3- (mg/L)	HCO3- (mg/L)
Csapadék mennyiség	1,000															
Napi átlag T	0,251	1,000														
pH	-0,070	0,201	1,000													
T	0,074	0,469	0,802	1,000												
vezkep	-0,022	0,091	0,344	0,242	1,000											
dD	0,228	0,284	0,242	0,446	-0,425	1,000										
d18O	0,202	0,228	0,343	0,427	-0,339	0,874	1,000									
d-többlet	0,054	0,037	-0,274	-0,084	-0,061	-0,014	-0,498	1,000								
Na+ (mg/L)	0,086	-0,116	0,465	0,235	0,647	-0,181	-0,194	0,035	1,000							
K+ (mg/L)	-0,013	0,041	0,363	0,426	0,281	0,013	-0,001	0,026	0,211	1,000						
Mg2+ (mg/L)	0,013	0,262	0,473	0,330	0,840	-0,297	-0,224	-0,113	0,352	0,314	1,000					
Ca2+(mg/L)	0,256	-0,031	0,510	0,186	0,795	-0,481	-0,492	0,074	0,722	0,291	0,521	1,000				
Cl- (mg/L)	0,202	0,111	0,199	0,396	-0,123	0,095	-0,054	0,285	0,010	0,286	-0,321	0,098	1,000			
SO42- (mg/L)	0,163	0,099	0,715	0,475	0,795	-0,178	-0,180	0,024	0,656	0,304	0,730	0,702	-0,065	1,000		
NO3- (mg/L)	0,278	-0,079	0,624	0,377	0,194	-0,131	-0,209	0,174	0,416	0,380	0,016	0,475	0,509	0,323	1,000	
HCO3- (mg/L)	0,113	0,022	0,086	-0,156	0,544	-0,562	-0,528	-0,006	0,365	0,159	0,299	0,771	0,108	0,194	0,250	1,000

• **Karbonátos dominancia:** erős Ca^{2+} -

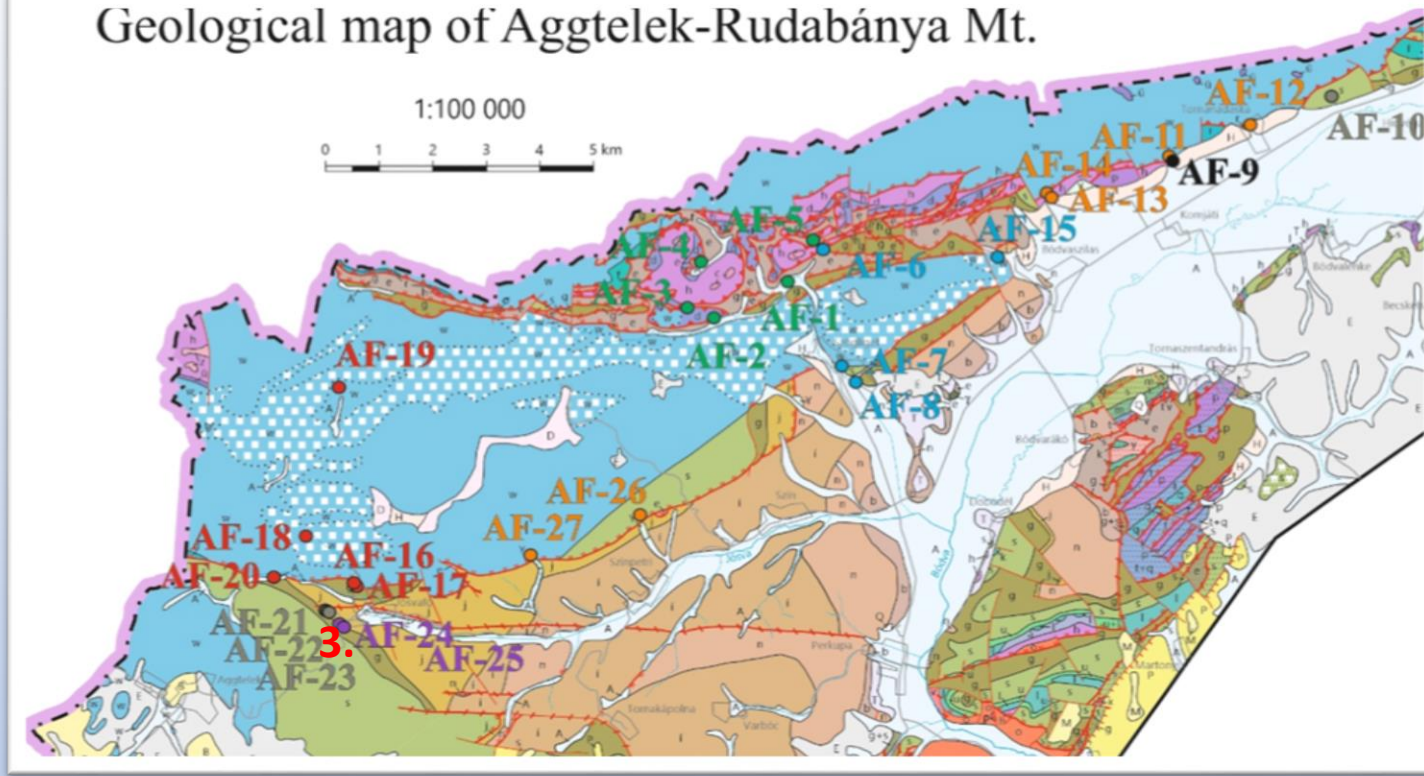
HCO_3^- kapcsolat → karbonátos víz-kőzet kölcsönhatás

• **Szulfátos ráhatás:** SO_4^{2-} - $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ -val
→ dolomitos vagy evaporitos befolyás /hatás

• **Kevert rendszer:** komplexebb hidrogeokémiai fejlődés, részben kiegyenlített utánpótlással

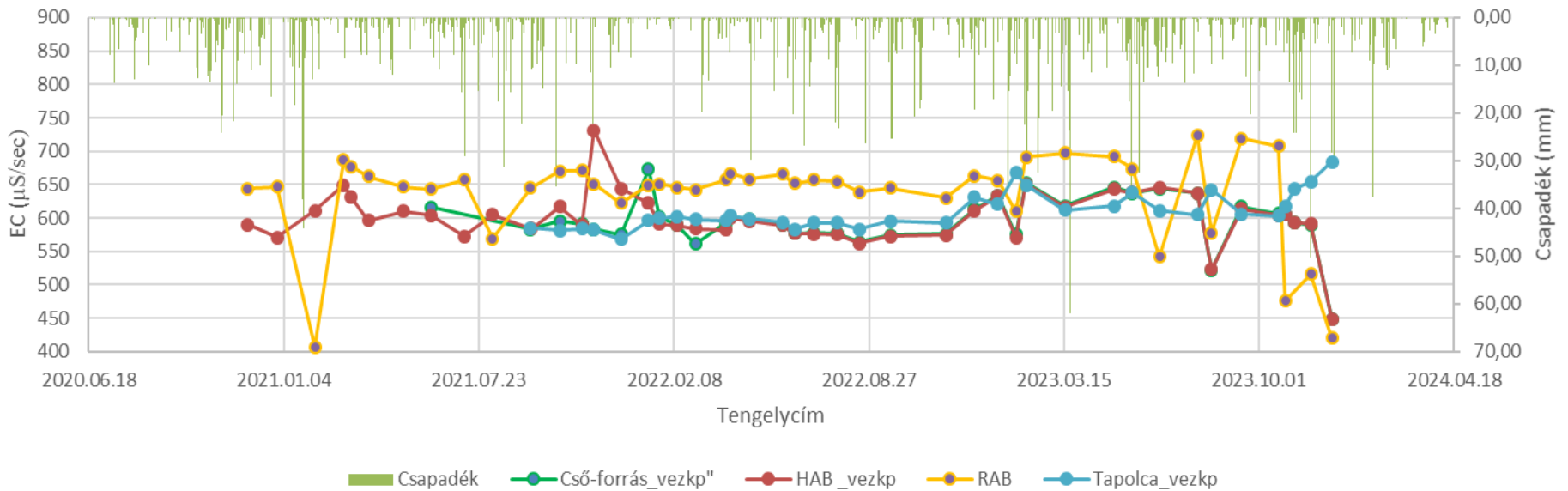


Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



3. csoport:

- Rövid-Alsó-barlang (AF-21),
- Hosszú-Alsó-barlang (AF-22),
- Cső-forrás (AF-23)
- Tapolca-forrás(AF10)

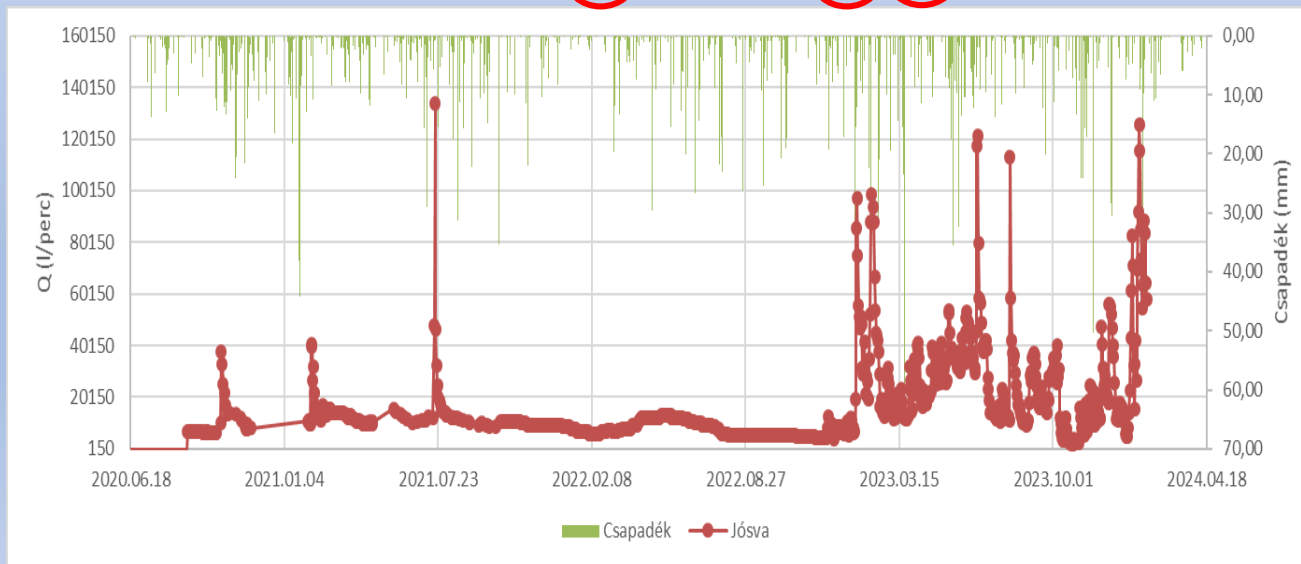


3. Csoport – Hosszú - alsó-barlang (Baradla-rendszer)

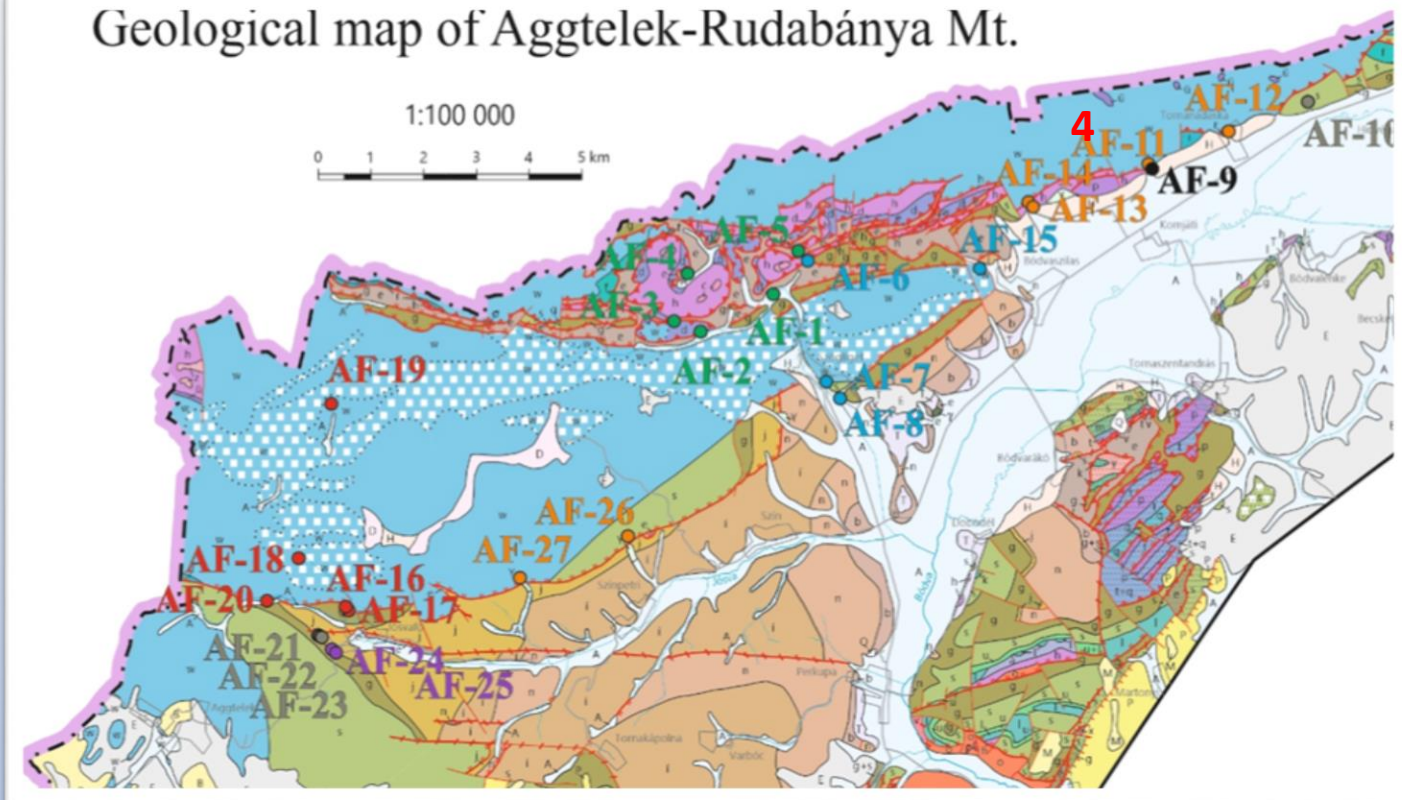
3. csoport HAB	Csapadék mennyiség g	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d-többslet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)	NO3- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	Vízhozam m L/min
Csapadék mennyiség	1,000																
Napi átlag T	0,162	1,000															
pH	-0,137	-0,260	1,000														
T	0,013	0,208	-0,132	1,000													
vezkep	-0,090	-0,102	-0,279	-0,027	1,000												
dD	-0,093	0,223	-0,040	-0,093	0,174	1,000											
d18O	-0,080	0,244	0,055	-0,032	0,153	0,874	1,000										
d-többslet	0,007	-0,083	-0,188	-0,109	0,013	0,084	-0,411	1,000									
Na+ (mg/L)	-0,225	-0,150	0,195	0,080	0,143	-0,001	-0,128	0,301	1,000								
K+ (mg/L)	0,270	0,151	0,046	0,130	-0,254	0,200	0,200	-0,032	-0,174	1,000							
Mg2+ (mg/L)	0,093	0,230	0,219	0,617	0,006	-0,139	-0,149	0,042	0,053	0,113	1,000						
Ca2+(mg/L)	-0,020	0,143	-0,092	-0,180	0,342	0,354	0,388	-0,126	-0,341	-0,276	-0,367	1,000					
Cl- (mg/L)	-0,194	-0,151	0,079	-0,006	0,143	-0,138	-0,173	0,093	0,730	-0,111	0,094	-0,409	1,000				
SO42- (mg/L)	-0,112	0,033	-0,241	-0,688	0,276	0,212	0,260	-0,132	0,032	-0,091	-0,647	0,255	0,324	1,000			
NO3- (mg/L)	0,129	-0,116	0,441	0,797	0,014	-0,357	-0,291	-0,085	0,266	-0,026	0,643	-0,193	0,145	-0,697	1,000		
HCO3- (mg/L)	-0,078	0,131	-0,023	0,003	0,367	0,353	0,385	-0,120	-0,360	-0,194	-0,168	0,938	-0,403	0,075	-0,037	1,000	
Vízhozam L/min	-0,316	-0,047	-0,216	-0,667	-0,252	-0,062	-0,041	-0,037	-0,159	-0,047	-0,75	0,115	-0,018	0,572	-0,760	-0,036	1,000

Baradla-rendszere

- **Karbonátos alap** (Ca–HCO₃ dominancia)
- **Erős szezonális** (hőmérséklet vezérelt) hatás
- **Vízhozam** ↑ → hígulás (ionok csökkennek)
- → **keveredés** Mg gazdagabb komponens van jelen
- SO₄²⁻ → ↑Q → ↑ (mobilizáció)
- NO₃⁻ → ↑Q → ↓ (hígulás)

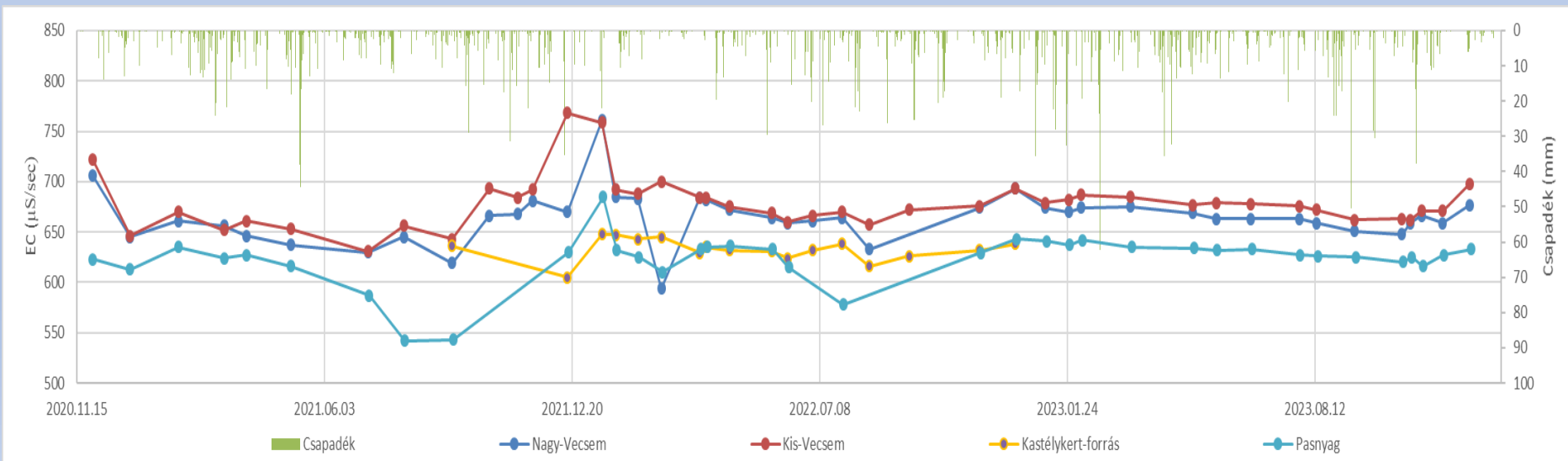


Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



4. csoport:

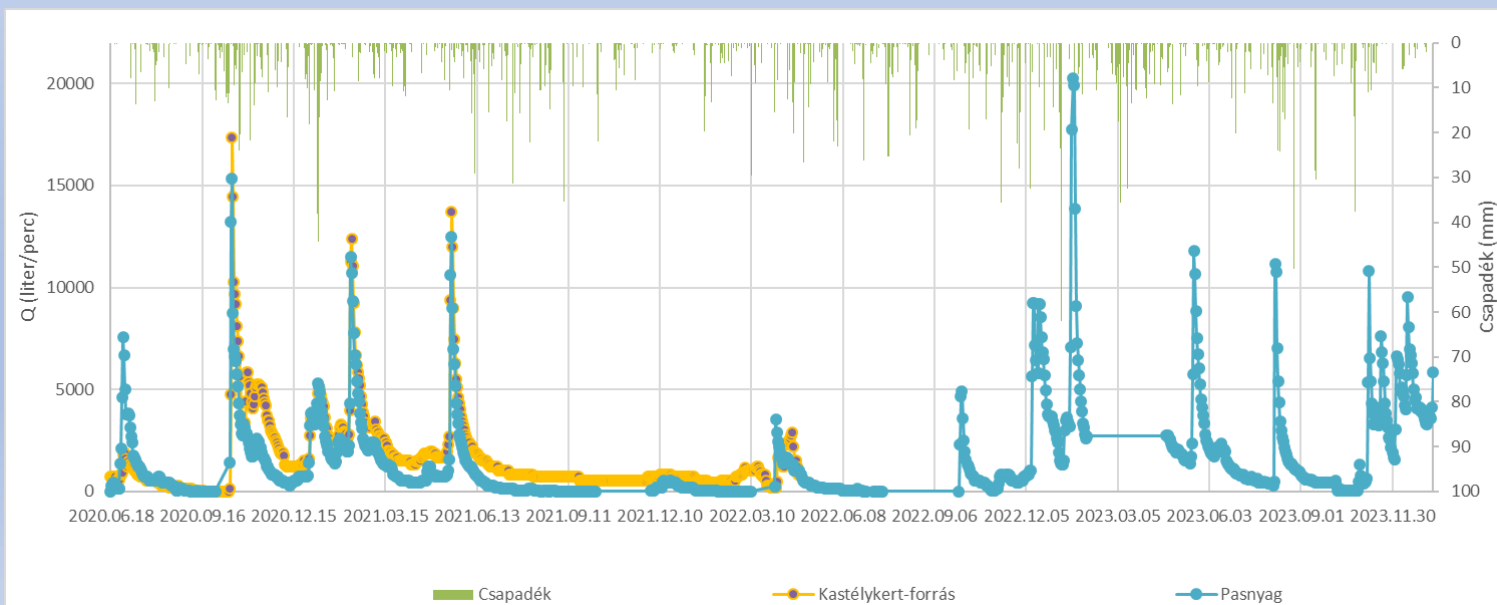
- Kastélykert (AF-12),
- Kis-Vecsem (AF-13),
- Nagy-Vecsem (AF-14)
- Pasnyag (AF-11)



4. Csoport – Pasnyag-forrás

4.Csoport Pasnyag	Csapadék mennyiség	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d-többlet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)	NO3- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	Vízhozam L/min
Csapadék mennyiség	1,000																
Napi átlag T	0,202	1,000															
pH	-0,106	-0,310	1,000														
T	0,450	0,490	-0,137	1,000													
vezkep	-0,542	-0,524	-0,025	-0,570	1,000												
dD	0,006	-0,354	0,477	-0,435	0,034	1,000											
d18O	-0,027	-0,423	0,309	-0,420	0,034	0,885	1,000										
d-többlet	0,119	0,278	0,183	0,122	-0,011	-0,121	-0,569	1,000									
Na+ (mg/L)	-0,048	-0,028	0,350	0,646	-0,394	-0,407	-0,352	0,068	1,000								
K+ (mg/L)	0,571	0,365	-0,097	0,671	-0,715	-0,517	-0,192	-0,200	0,451	1,000							
Mg2+ (mg/L)	0,321	0,042	-0,144	0,652	-0,259	-0,178	0,153	-0,308	0,548	0,890	1,000						
Ca2+(mg/L)	-0,099	-0,003	-0,017	-0,375	0,328	-0,073	-0,098	0,080	-0,393	-0,424	-0,677	1,000					
Cl- (mg/L)	0,211	-0,025	0,070	0,525	-0,369	-0,234	-0,111	-0,143	0,795	0,405	0,631	-0,505	1,000				
SO42- (mg/L)	-0,132	0,150	0,081	-0,053	-0,301	0,066	-0,009	0,138	0,076	-0,293	-0,257	0,153	0,143	1,000			
NO3- (mg/L)	0,292	0,134	-0,054	0,714	-0,379	-0,401	-0,276	-0,123	0,710	0,638	0,741	0,358	0,876	0,086	1,000		
HCO3- (mg/L)	0,041	-0,018	-0,176	-0,239	0,367	-0,268	-0,252	0,064	-0,306	-0,344	-0,591	0,930	-0,415	0,001	-0,246	1,000	
Vízhozam L/min	-0,053	-0,268	-0,242	-0,433	0,197	0,472	0,515	-0,268	-0,517	-0,656	-0,259	-0,377	-0,102	0,077	-0,383	-0,411	1,000

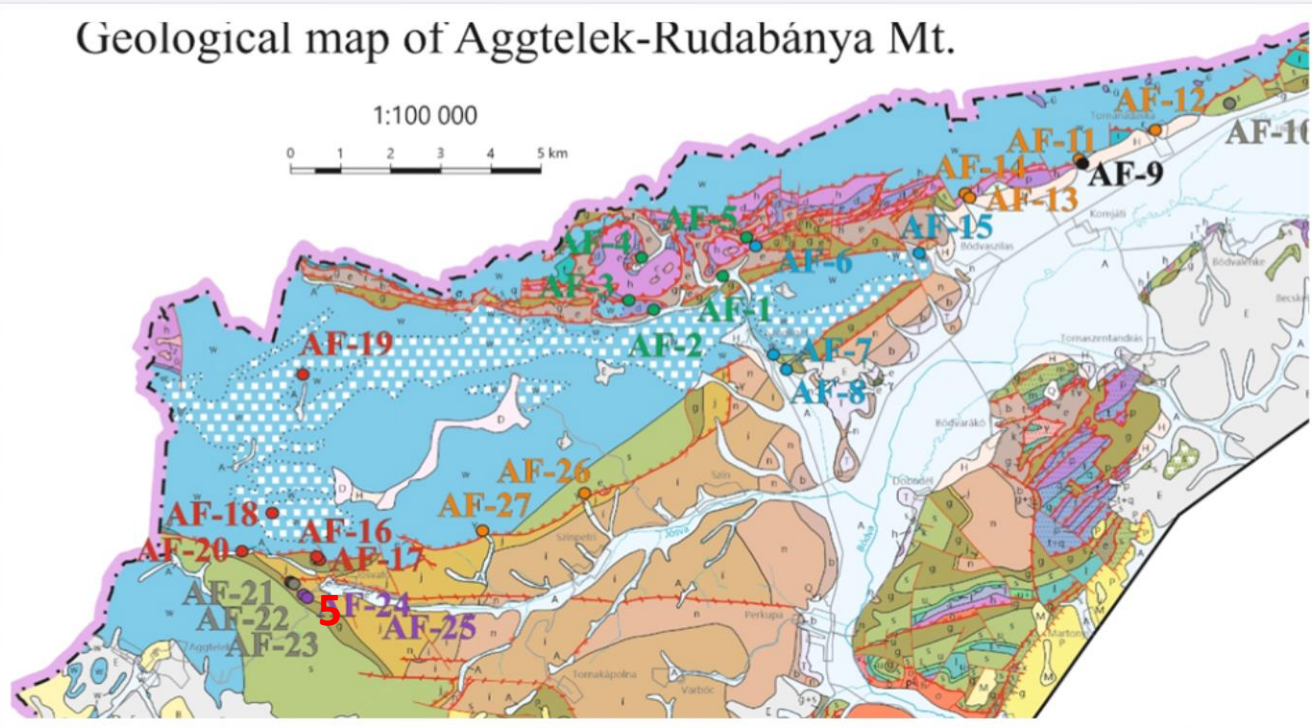
- **Ca-HCO₃ domináns rendszer**
- Hőmérséklet függő kémia
- Csapadék-vezérelt rendszer
Ionok hígulása dominál



Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.

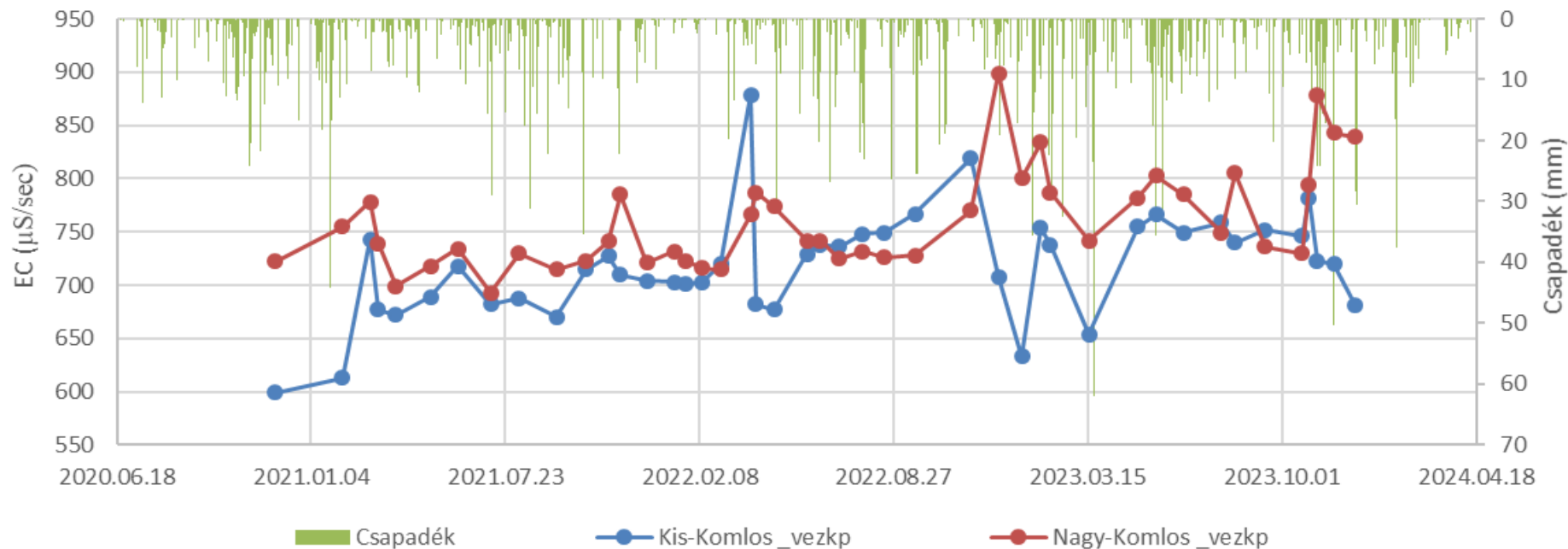
1:100 000

0 1 2 3 4 5 km



5. csoport:

Nagy-Komlós
(AF-24),
Kis-Komlós
(AF-25)

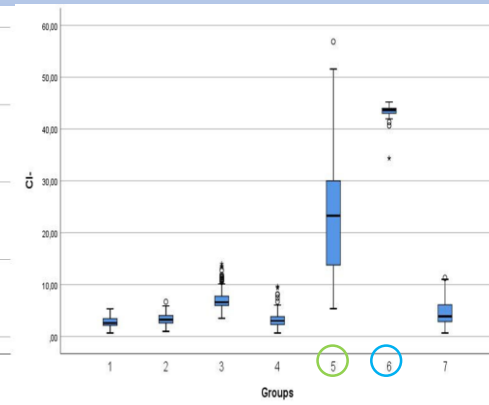
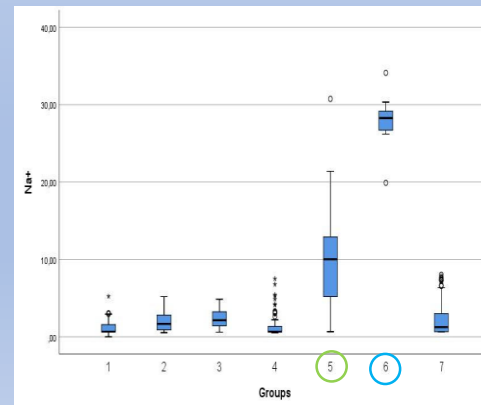


5. Csoport - Béke-barlang

5.csoport Nagy-Komlós	pH	T	vezkep	dD	d18O	D-több- barlanlet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO42- (mg/L)	NO3- (mg/L)	HCO3- (mg/L)	Vízhozam L/min
pH	1,000														
T	-0,361	1,000													
vezkep	-0,405	0,102	1,000												
dD	-0,001	-0,051	0,387	1,000											
d18O	0,061	0,026	0,312	0,508	1,000										
d-többlet	-0,071	-0,064	-0,105	0,073	-0,822	1,000									
Na+ (mg/L)	-0,281	0,158	0,856	0,153	0,068	0,026	1,000								
K+ (mg/L)	-0,515	-0,207	-0,106	-0,348	-0,257	0,074	0,010	1,000							
Mg2+ (mg/L)	0,016	-0,135	-0,013	-0,035	-0,001	-0,023	0,034	0,417	1,000						
Ca2+(mg/L)	-0,127	0,451	0,161	-0,003	0,116	-0,139	0,125	-0,432	-0,299	1,000					
Cl- (mg/L)	-0,241	0,113	0,836	0,171	0,047	0,063	0,926	-0,095	0,070	0,199	1,000				
SO42- (mg/L)	0,065	0,253	0,237	0,564	0,325	0,005	0,320	-0,523	0,027	0,213	0,452	1,000			
NO3- (mg/L)	-0,304	0,544	0,340	-0,004	-0,012	0,011	0,486	-0,117	0,002	0,340	0,632	0,491	1,000		
HCO3- (mg/L)	-0,141	0,390	0,108	-0,055	0,118	-0,176	0,059	-0,431	-0,167	0,940	0,095	0,076	0,198	1,000	
Vízhozam L/min	-0,204	0,229	0,571	0,570	0,355	-0,034	0,511	-0,113	0,044	0,087	0,434	0,637	0,410	-0,006	1,000

Béke-rendszer: kevert, többkomponensű karsztvíz

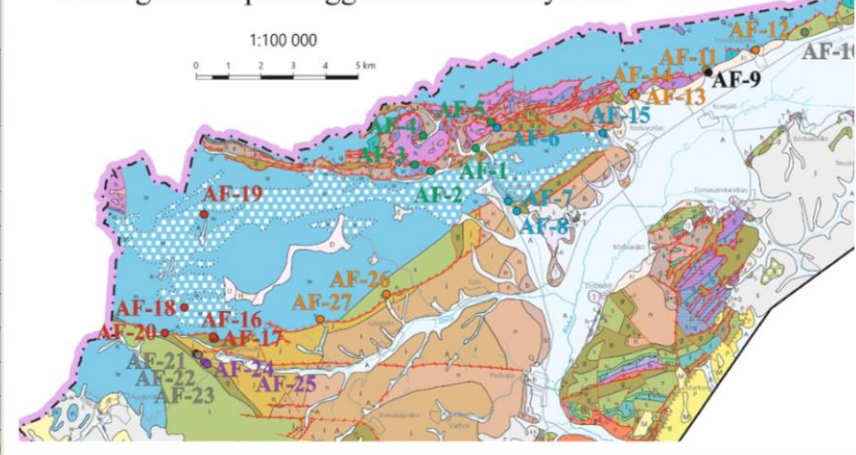
- Ca-HCO₃ alapjel: karbonátos oldódás
- Na-Cl komponens: mineralizáltabb víz / keveredés
- Vízhozamfüggő aktiválódás: nagyobb hozamnál nem hígulás, hanem új áramlási komponensek bekapcsolódása



Jellemző	5. Csoport Béke-rendszer Komlós-források	3. Csoport BARADLA – rendszer Jósva-források	1. Csoport (Kossuth-Barlang) Nagy-Tohonya rendszer
Fő folyamat	Több komponensű keveredés, mobilizáció	Keveredés Hígulás (szezonális)	Impulzív gyorsválasz + hígulás
Hidrogeokémiai jelleg	Többkomponensű (Na–Cl + Ca–HCO ₃)	Dominánsan Ca–HCO ₃	Ca–HCO ₃ alap, de dinamikus
Vezetőképesség - vízhozam	Pozitív (↑Q → ↑EC)	Negatív (↑Q → ↓EC)	Negatív (↑Q → ↓EC)
Ionválasz (Q növekedéskor)	Ionok nőnek (mobilizáció)	Ionok csökkennek (hígulás)	Ionok gyorsan csökkennek (hígulás)
Izotópos viselkedés	Keveredési trend	Meteorikus, viszonylag stabilabb, de szezonális jel látható	Erősen változó, impulzív
Vízhozam – izotóp kapcsolat	Pozitív (komponens aktiválódás)	Gyengébb vagy mérsékelt	Erős pozitív/impulzív kapcsolat
Hőmérséklet hatás	Gyenge -közepes	Erős szezonális	Erős (hideg víz impulzusokkal)
Reakció idő	Gyors, de komplex	Gyors	Nagyon gyors (impulzív)
Tározókapacitás	Közepes–nagy (több komponens)	Nagy	Kicsi
Áramlási típus	Többtározós, kevert	Diffúz_tározott komponens	Konduitos, gyors

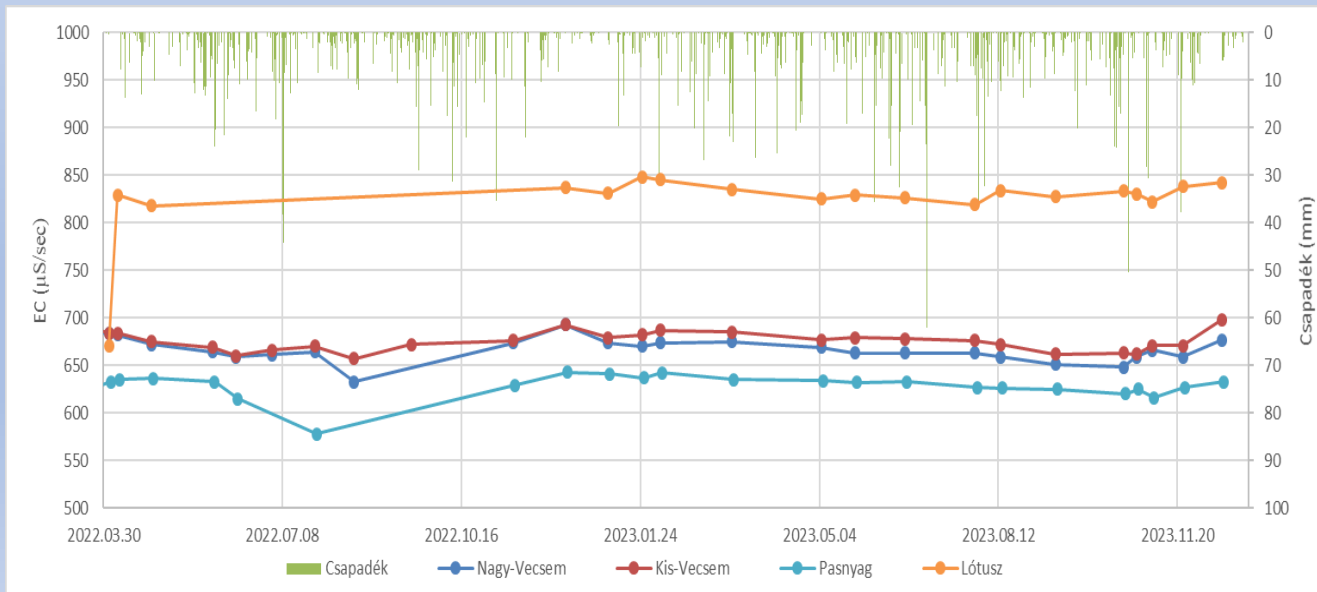
6. Csoport – Lótusz forrás

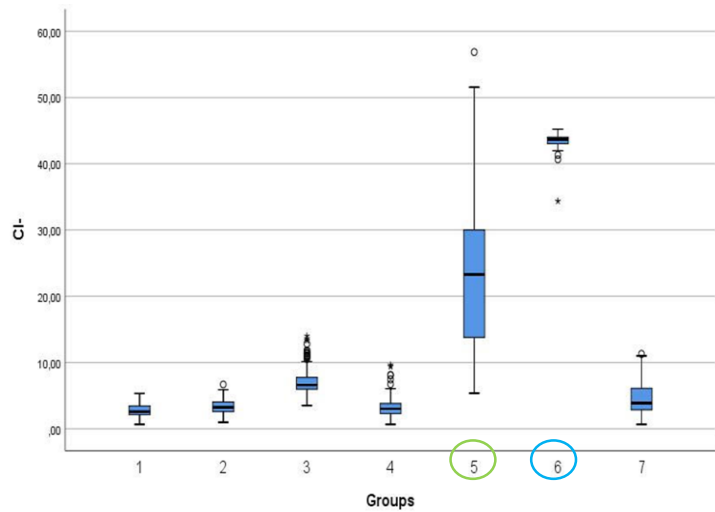
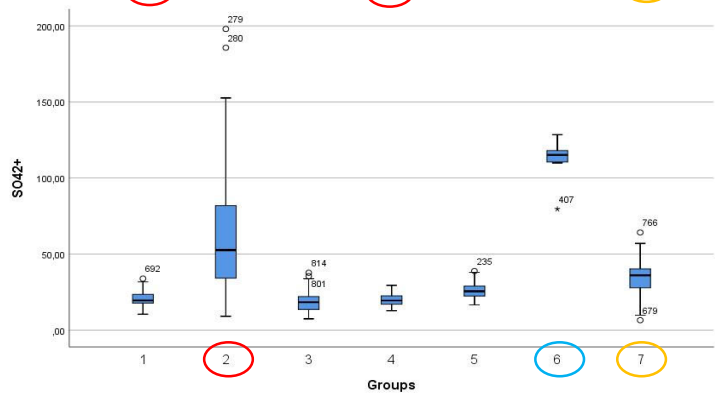
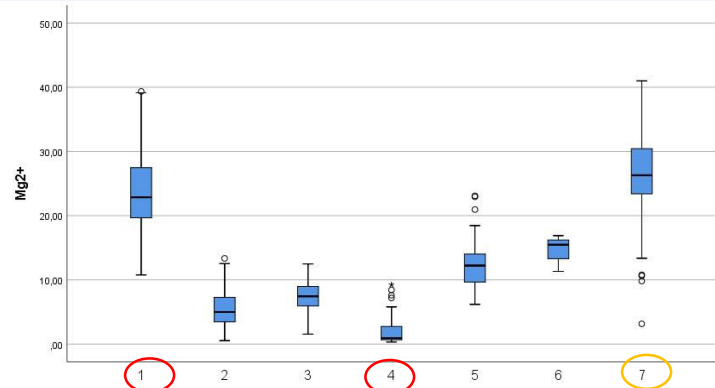
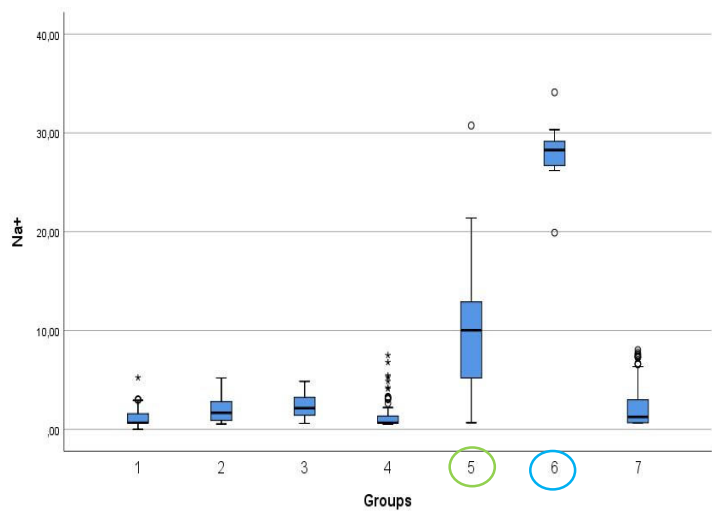
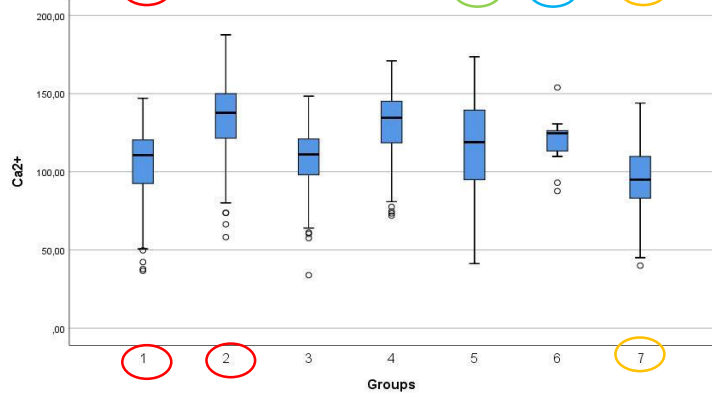
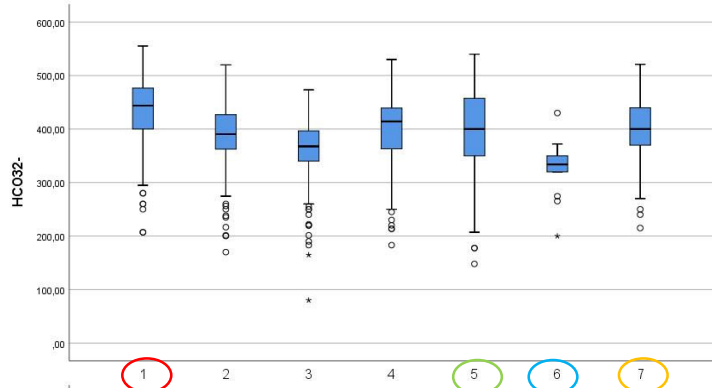
Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



• Lótusz	Csapadék mennyiség	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d-többslet	Na+ (mg/L)							
Csapadék mennyiség	1,000															
Napi átlag T	0,099	1,000														
pH	0,450	-0,594	1,000													
T	0,203	0,397	-0,609	1,000												
vezkep	0,292	0,036	-0,168	0,784	1,000											
dD	-0,261	0,029	0,027	-0,682	-0,746	1,000										
d18O	0,041	-0,390	0,476	-0,637	-0,577	0,319	1,000									
d-többslet	-0,278	0,385	-0,421	0,067	-0,038	0,473	-0,684	1,000								
Na+ (mg/L)	0,360	0,520	-0,385	0,836	0,713	0,648	-0,475	-0,057	1,000							
K+ (mg/L)	0,393	0,313	0,106	-0,038	0,027	0,004	0,043	-0,037	0,186	1,000						
Mg2+ (mg/L)	-0,003	0,474	-0,293	0,433	0,494	-0,194	-0,430	0,251	0,619	0,477	1,000					
Ca2+(mg/L)	0,314	0,379	-0,315	0,491	0,459	-0,242	-0,219	0,017	0,727	0,169	0,530	1,000				
Cl- (mg/L)	0,334	0,005	-0,160	0,715	0,891	-0,687	-0,547	-0,021	0,602	0,099	0,318	0,486	1,000			
SO42- (mg/L)	0,260	0,127	0,110	0,202	0,250	-0,264	-0,350	0,122	0,227	-0,191	0,041	0,064	0,273	1,000		
NO3- (mg/L)	0,245	0,340	-0,139	0,283	0,142	-0,408	-0,284	-0,050	0,529	-0,048	0,140	0,364	0,144	0,079	1,000	
HCO3- (mg/L)	-0,036	0,283	-0,349	0,291	0,280	0,000	-0,069	0,064	0,502	0,244	0,573	0,889	0,287	-0,282	0,182	1,000

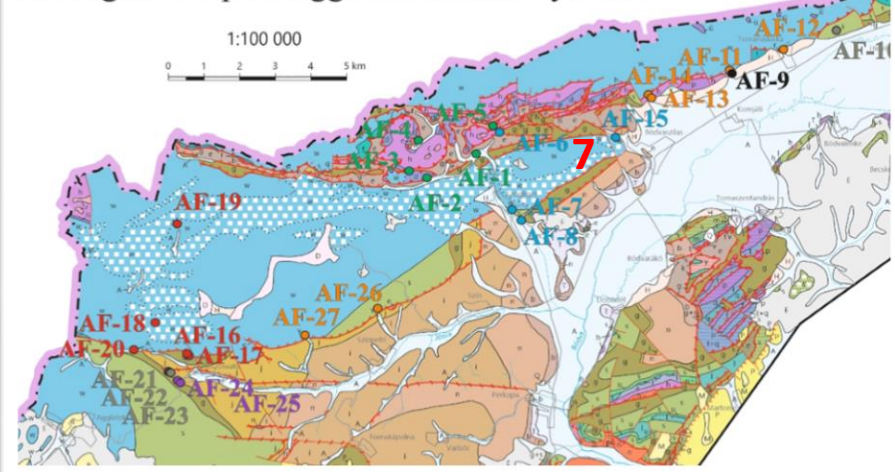
- **Eltérő, mélyebb eredetű rendszer**
- **nem tiszta Ca–HCO₃**
- **Na–Cl és vezetőképesség domináns**
- **hőmérséklet erősen befolyásolja**





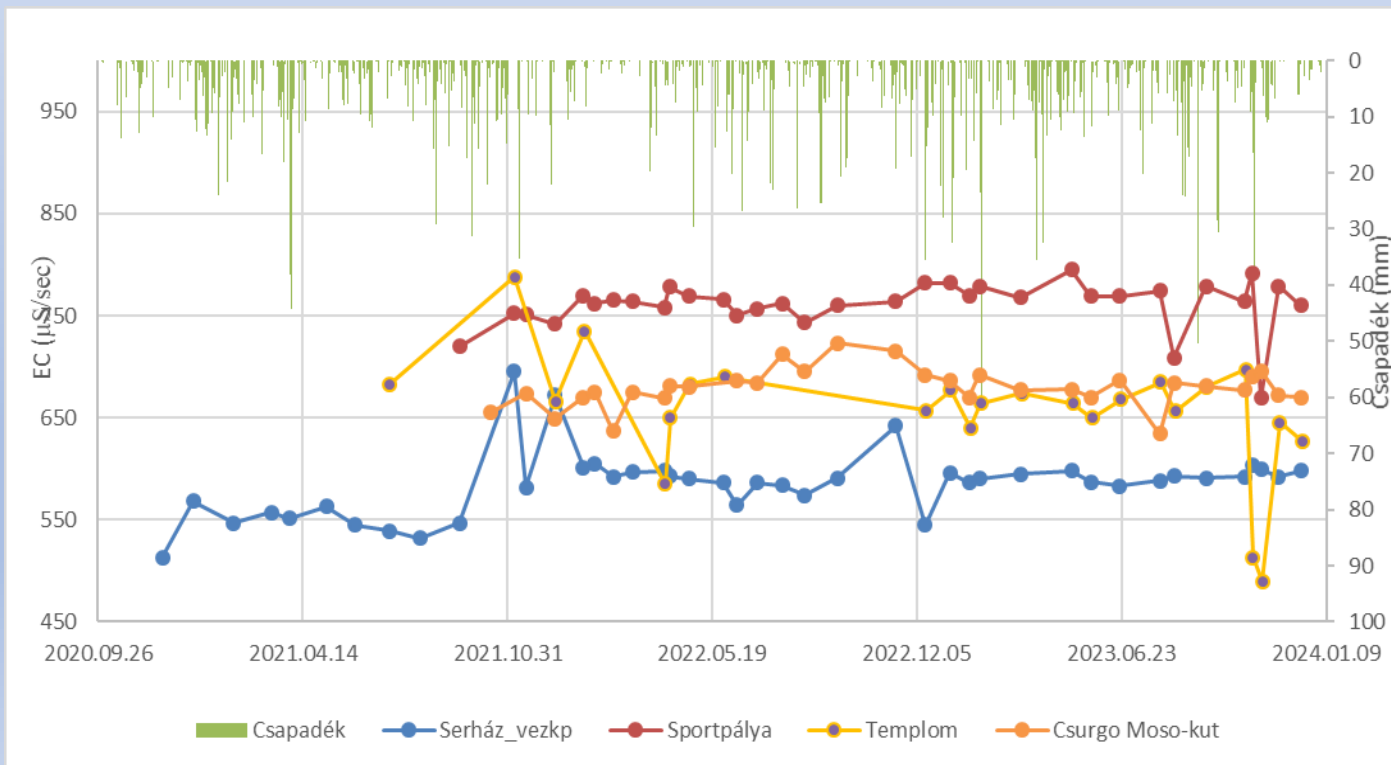
Csörgő-templom	Csapadék mennyiség	Napi átlag T	pH	T	vezkep	dD	d18O	d-többllet	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Mg2+ (mg/L)	Ca2+ (mg/L)			
Csapadék mennyiség	1,000														
Napi átlag T	0,332	1,000													
pH	0,054	-0,474	1,000												
T	0,344	0,770	-0,207	1,000											
vezkep	-0,131	0,014	0,576	0,218	1,000										
dD	0,109	0,004	-0,381	-0,135	-0,826	1,000									
d18O	-0,076	-0,138	-0,458	-0,094	-0,722	0,812	1,000								
d-többllet	0,315	0,232	0,056	-0,097	0,338	0,308	-0,305	1,000							
Na+ (mg/L)	-0,614	-0,213	0,757	0,071	0,552	-0,439	-0,346	-0,256	1,000						
K+ (mg/L)	0,454	0,087	0,171	-0,003	-0,233	-0,214	-0,030	-0,177	1,000						
Mg2+ (mg/L)	0,038	0,231	0,370	0,388	0,505	-0,471	-0,575	0,168	0,839	0,225	1,000				
Ca2+(mg/L)	0,051	0,103	0,042	0,530	0,267	-0,088	-0,058	-0,049	-0,128	-0,262	-0,299	1,000			
Cl- (mg/L)	0,280	-0,079	0,100	-0,588	-0,194	-0,193	-0,117	-0,124	0,104	0,647	0,204	-0,145			
SO42- (mg/L)	-0,123	-0,048	0,520	0,152	0,644	0,360	-0,271	-0,145	0,202	0,147	0,392	-0,206			
NO3- (mg/L)	-0,161	-0,345	0,106	-0,099	-0,144	0,142	0,260	-0,191	0,392	-0,001	0,148	-0,075			
HCO3- (mg/L)	0,136	0,165	0,190	0,497	0,390	-0,302	-0,400	0,160	0,269	-0,164	0,120	0,852			
												0,011	-0,217	-0,103	1,000

Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.



7. Csoport

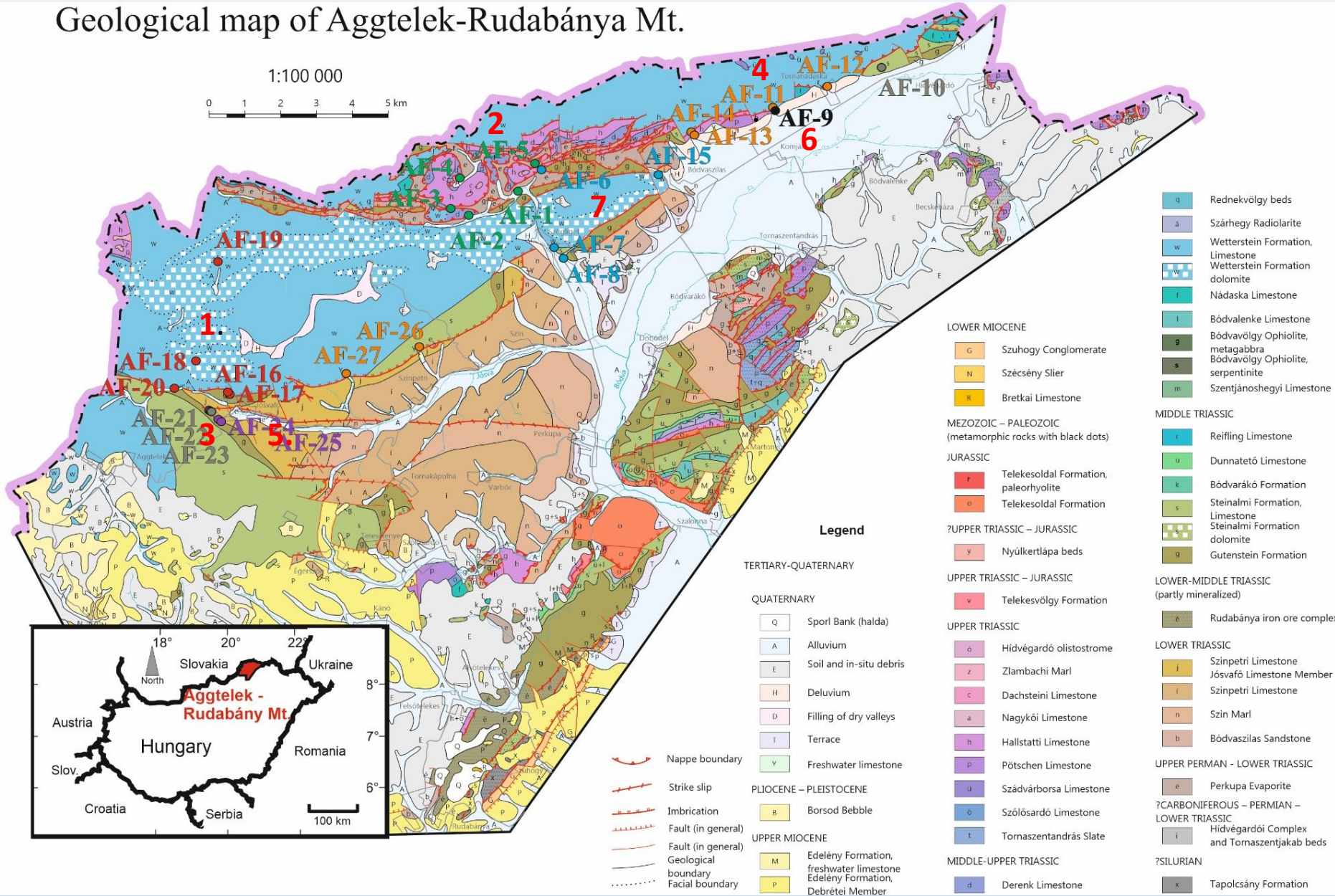
- Ca-HCO₃ fácies (karbonátos alap)
- gyenge-közepes korrelációk
- több kisebb hatás együttesen érvényesül
- kiegyenlített, diffúz utánpótlás



A csoportok területi elhelyezkedése

Geological map of Aggtelek-Rudabánya Mt.

1:100 000



CCDA-csoportok fő hidrogeokémiai jellege

Csoport	Fő vízkémiai jelleg	Fő folyamat / értelmezés	Kapcsolódó formációk
1. csoport	Ca–HCO₃, karbonátos, Mg-hatás	mészkioldódás + dolomitos, lassabb komponens	Wettersteini Formáció, lokálisan Gutensteini Formáció
2. csoport	Ca–HCO₃ + Mg + SO₄	karbonátos rendszer, evaporitos keveredéssel	Hallstatti Formáció, Gutensteini Formáció, Perkupai Formáció
3. csoport	kevert karbonátos, változékony ionösszetétel	Baradla-típusú keveredő rendszer; epikarszt + mélyebb komponens	főként Wettersteini karbonátok, lokálisan nem-karbonátos/ evaporitos hatás
4. csoport	tiszta Ca–HCO₃, alacsony Mg	homogén, mészki-domináns karbonátos rendszer	mészki-domináns karbonátos egységek, főként Wettersteini mészki
5. csoport	Ca–HCO₃ + Na–Cl + SO₄	kontaktzónás, dinamikus keveredési rendszer	karbonátok + Perkupai Formáció, márgás/agyagos kontaktzónák
6. csoport	Na–Cl–SO₄ dominancia, magas mineralizáció	nem-karbonátos / evaporitos, mélyebb vagy hosszabb áramlási komponens	karbonátok + Perkupai evaporitos képződmények
7. csoport	Mg-gazdag karbonátos, SO₄-hatással	dolomitos + kevert, lassabb komponensek	dolomitos karbonátok, Perkupai evaporitos hatás, Dusa-tömb peremi zóna

Következtetések

- A CCDA módszerrel 7 csoport különíthető el → objektív csoportképzés
- A meghatározott csoportok jelentős hidro-geokémiai heterogenitást mutatnak
→ eltérő hidrogeológiai folyamatokat reprezentálnak
/különböző áramlási rendszerek, tartózkodási idők/
- A csoportokon belül az azonos hidro-geokémiai jelleg ellenére, eltérő hidrodinamikai viselkedések is megfigyelhetők.
- Az azonos csoportba tartozó források jellemzően azonos kőzettani háttérhez és vízgyűjtő területekhez kapcsolódnak.
- Összességében elmondható, hogy a statisztikai módszerrel azonosított csoportok nemcsak matematikailag, hanem térben és földtani szempontból is jól értelmezhetők.
- Mindez azt mutatja, hogy CCDA módszer alkalmas komplex karsztrendszerek objektív értelmezésére.

Köszönöm a figyelmet!



„AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM KDP-2021 KÓDSZÁMÚ KOOPERATÍV DOKTORI PROGRAM DOKTORI HALLGATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”

CCDA módszer lépései és eredményei I.

- 1. Standardizálás** → mértékegységek egységesítése
eredmény: összehasonlítható változók
- 2. Távolság + HCA(Ward)** → minták közti távolság →
eredmény: dendrogram → kezdeti klaszterstruktúra
- 3. Klaszterszám vizsgálata ($k = 2 \dots n$)** →
eredmény: több lehetséges csoportfelosztás
- 4. Lineáris diszkriminancia analízis (LDA)** → csoportok elkülöníthetősége,
eredmény: diszkrimináns tengelyek, csoportszeparáció
- 5. Klasszifikációs arány (ratio)** → besorolási pontosság (%)

$$\text{ratio} = \frac{\text{helyes besorolás}}{\text{összes minta}}$$

CCDA módszer lépései és eredményei II.

6. Randomizációs teszt (q95) → véletlen referencia szint (95%)

eredmény: referencia szint (95%-os küszöb)

7. d érték (ratio – q95) → statisztikai szignifikancia mértéke

$d = \text{ratio} - q95$

8. Optimális klaszterszám kiválasztása → maximális d →

eredmény: objektív csoportszám

9. Végző csoportok meghatározása → minták besorolása

eredmény: hidrogeokémiai csoportok

10. Hidrogeológiai interpretáció → fizikai jelentés hozzárendelése

eredmény: áramlási rendszerek, közettani és keveredési hatások