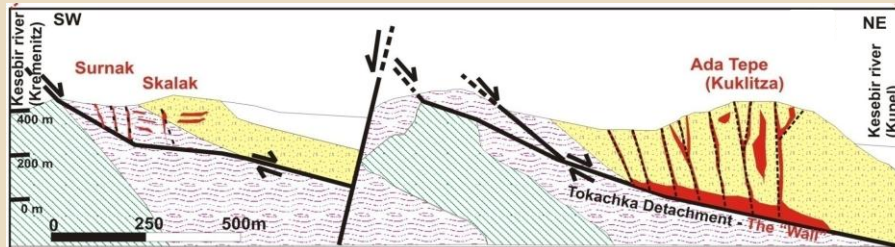


## Ércteleptan – VII.



### Nem-magmás eredetű (?) hidrotermás oldatok:

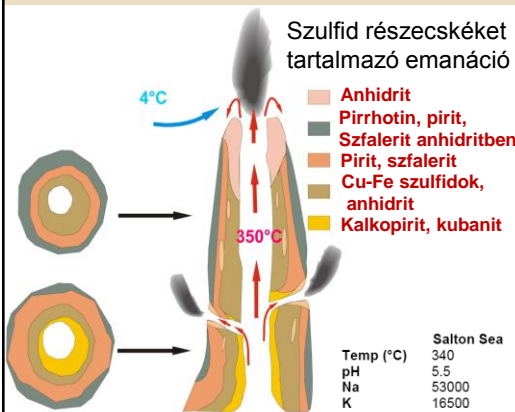
- A) VHMS-SEDEX kontinuum (vulkáni környezetben előforduló sztratiform telepek)
- B) Nyírési zónákhoz kapcsolódó Au ércesedések (orogén, mezotermális)
- C) Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn ércesedések (MVT-k)
- D) Üledékes kőzetekben előforduló hidrotermás Au ércesedések (Carlin-típusú aranyérc telepek, lisztrikus vetők menti ércesedések)



Dr.  
**MÁRTON ISTVÁN**  
Istvan.Marton@stockwork.ro

Babeş-Bolyai Tudományegyetem,  
Geológia Szak, 3. év, 2011-2012

## Recens oceánaljzati hévforrások („black smokers”):



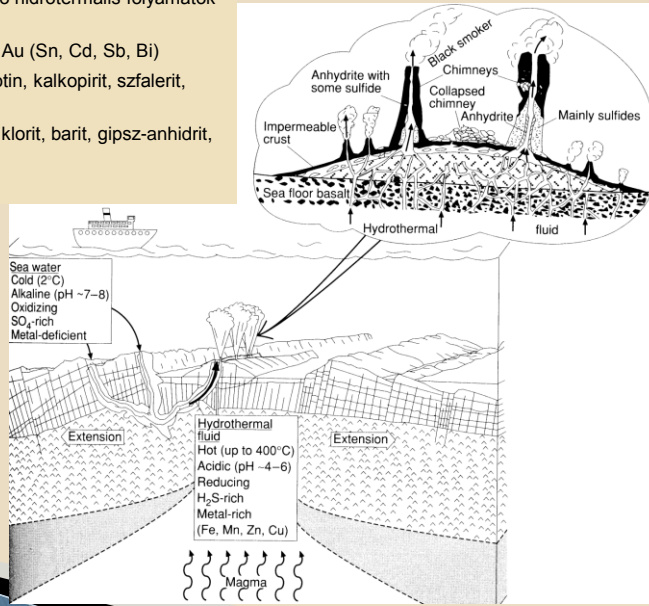
Hévíforrások és a tengervíz összetétele (mg/g). Referenciák: Salton Sea: Helgeson (1968); Red Sea: Shanks and Bischoff (1977); Kuroko: Pisutha-Armond and Ohmoto (1983) (fluidzárvány adatok átlaga); East Pacific Rise (EPR), Seawater: Janecky and Seyfried (1984); Southern Juan de Fuca Ridge (SJFR): Von Damm and Bischoff (1987).

	Salton Sea	Red Sea	Kuroko	EPR	SJFR	Seawater
Temp (°C)	340	60	320	350	224	2
pH	5.5	5.5	4.5	3.5	3.2	8.0
Na	53000	92600	17500	9800	18300	10790
K	16500	1870	5000	1000	2020	395
Ca	28800	5150	4400	860	3860	413
Mg	10	764	510	<1	<1	1280
SiO <sub>2</sub>	400	60	?	960	1400	10
Cl	155000	156000	40400	17335	38640	19355
SO <sub>4</sub>	10	840	?	<1	50	2745
H <sub>2</sub> S	30	?	?	221	63	<1
CO <sub>2</sub>	500	140	8800	282	?	103
Fe	2000	81	6	100	1045	<1
Mn	1370	82	?	34	197	<1
Zn	500	5.4	3	7	59	<1
Cu	3	0.3	5	1	<0.1	<1
Pb	60	?	3	<1	?	<1
Ba	250	0.9	?	13	?	<1

BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

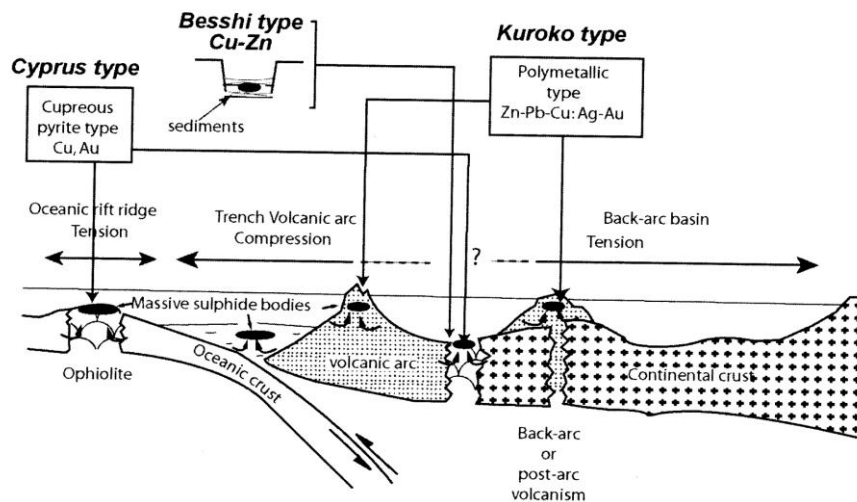
## Vulkáni masszív szulfid telepek általános jellemzői (Molnár F.)

- Szubmarin vulkanizmushoz kötődő hidrotermális folyamatok ércesedési típusa
- Elemasszociáció: Cu, Zn, Pb, Ag, Au (Sn, Cd, Sb, Bi)
- Jellemző ércásványok: pirit, pirrotin, kalkopirit, szfalerit, galenit, bornit, szulfosók
- Jellemző meddőásványok: kvarc, klorit, barit, gipsz-anhidrit, karbonátok
- Telepforma: rétegtani szinthez kötött tömzsök, hintések, érhalózatok
- Szerkezeti kontroll: szubmarin kalderák vulkanotektonikus törései, óceáni hátságok töréses zónái
- Vulkáni kőzetkörnyezet: óceáni hátságok pillow-bazaltja, óceáni szigetívek és ív mögötti medencék bimodális bazaltos-riolitos, vulkanitjai, szubmarin riolit dómok



BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

## Masszív szulfid telepek osztályozása a képződésük tektonikai viszonyainak függvényében (Hutchinson, 1980)



BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

## Vulkáni masszív szulfid telepek típusai, elemkoncentrációi és ércmezőn belüli egyes érctesteinek készletei

### 1. Zn-Cu típus:

Differenciált tholeiites-mészalkáli bázisos vulkáni sorozatokban  
Példa: Abitibi öv, Kanada

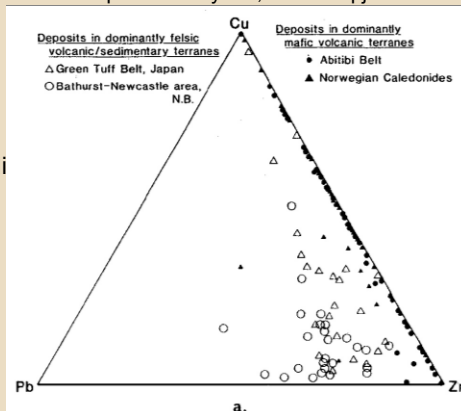
### 2. Zn-Pb-Cu típus:

Fanerozoikumi neutrális-savanyú mészalkáli vulkáni sorozatokban  
Példa: Zöld-tufa öv, Japán; Ibériai Pirit Öv (+Sn!!!)

### 3. Cu- (Ciprus) típus:

Fanerozoikumi óceáni hátságok gyengén differenciált ofiolitos, vagy tholeiites sorozataiban  
Példa: Ciprus, Omán

Telep adatok: Lydon, 1988 alapján:



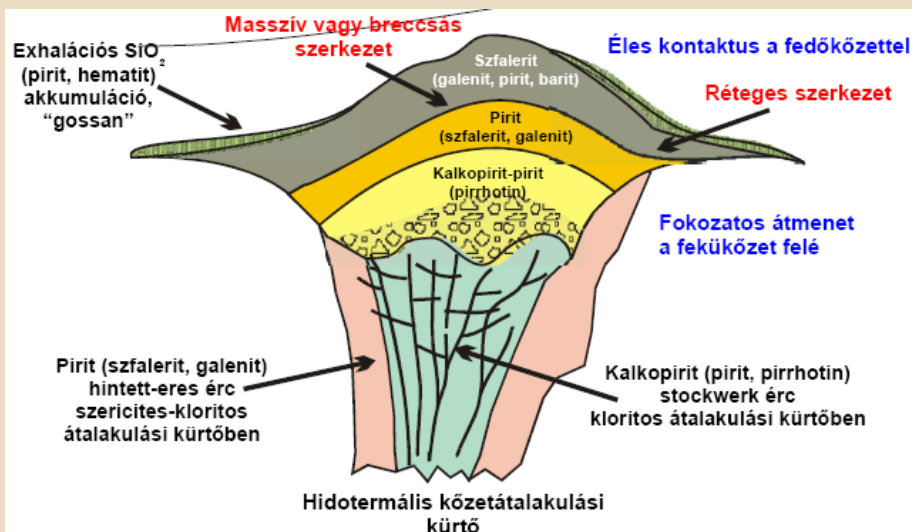
Típus	Előfordulás	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Ag (g/t)	Au (gt)	Készlet
Cu-Zn	Noranda	1.47	3.43	0.07	31.9	0.8	9.2 Mt
Zn-Pb-Cu	Japán	1.63	3.86	0.92	95.1	0.9	5.8 Mt
Cu	Ciprus	4	0.5	0.1	20	1	2 Mt

BBTE

2012.05.09.

Ércteleptan – 3. év

## Vulkáni masszív szulfid érctest elvi zonációja (Lydon, 1988)

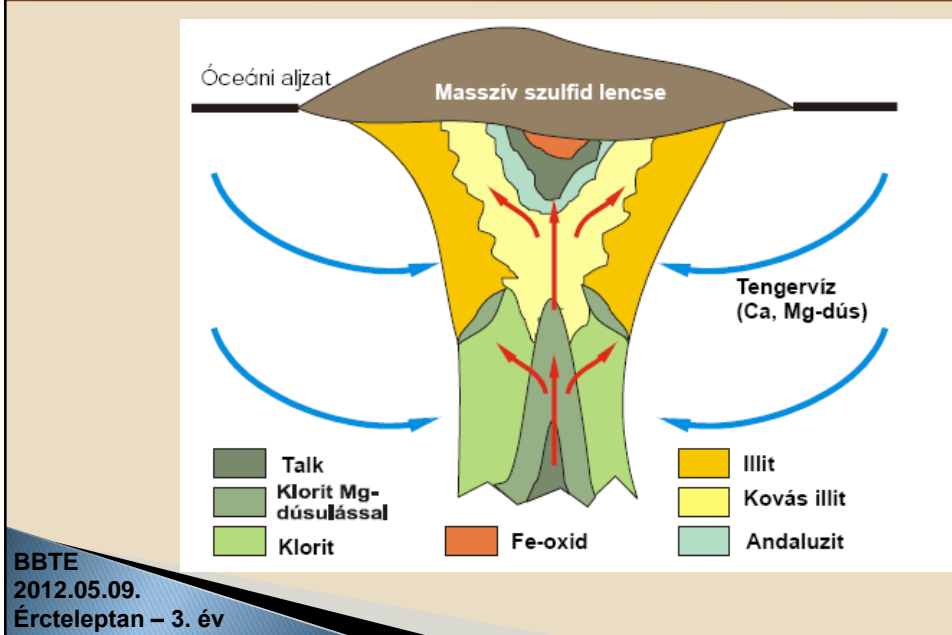


BBTE

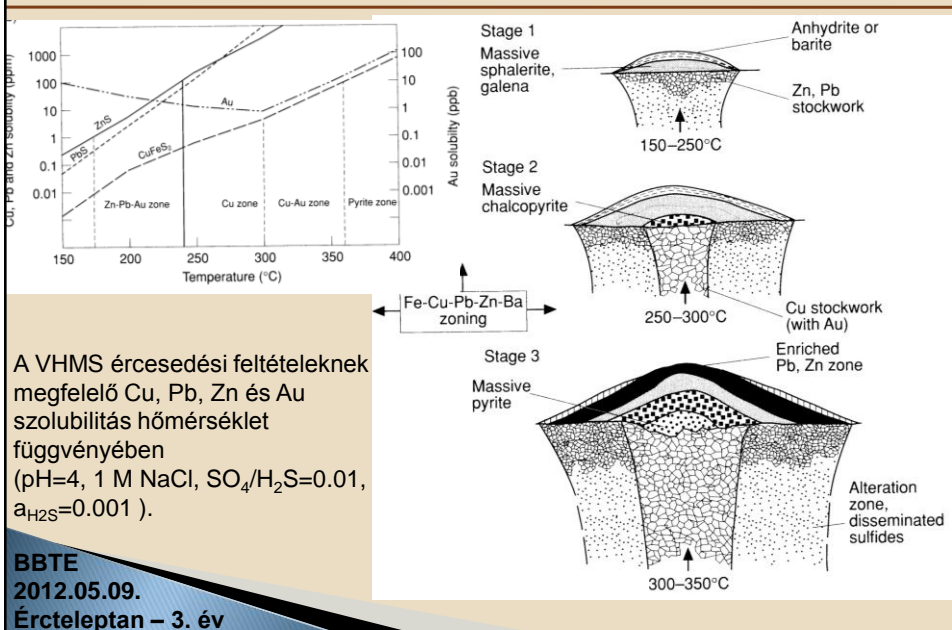
2012.05.09.

Ércteleptan – 3. év

## Vulkáni masszív szulfid ércesthez társuló kőzetátalakulás idealizált zonációja (Lydon, 1988)

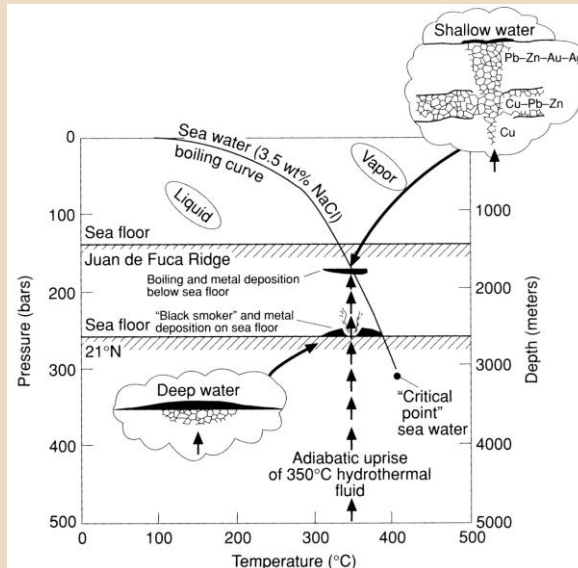


## Vulkáni-üledékes masszív szulfid telepek kialakulásának többfázisú modellje (Large, 1992)



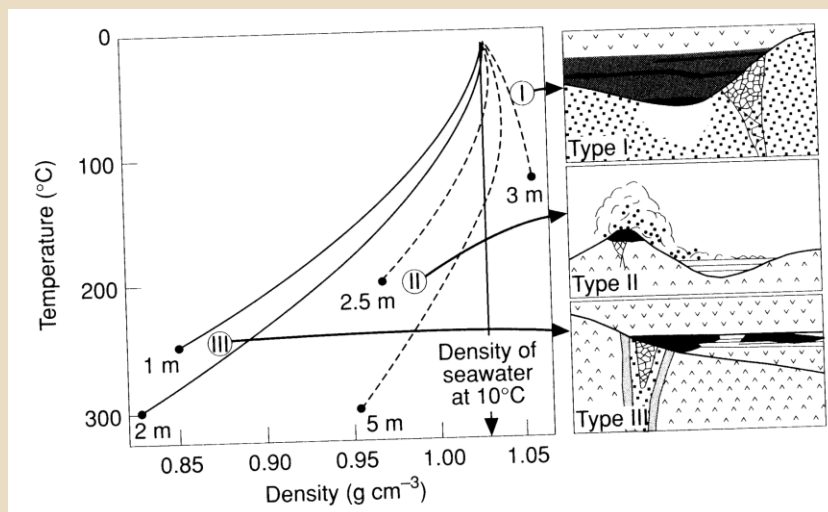
## Vulkáni-üledékes masszív szulfid telepek kialakulásához kapcsolódó fluidum felforrási feltételek (Delaney és Coscens, 1982)

Az ércképző fluidum felforrásának erősen nyomásfüggő (amely a mélységgel változik), így a felforrás nem minden esetben történik a tengerfenékre való kiáramláskor/exhalációkor.



BBTE  
2012.05.09.  
Ércleleptan – 3. év

## Szubmarin hévforrás fluidumának áramlása a tengervízben



Különböző hőmérsékletű és koncentrációjú oldatok sűrűségének változása a 10°C-os tengervízzel történő keveredés során

BBTE  
2012.05.09.  
Ércleleptan – 3. év

## Vulkáni-üledékes masszív szulfid telepek, Besshi-típus (Molnár F.)

### Átmeneti teleptípus a vulkáni masszív szulfid és az üledékes-exhalációs masszív szulfid telepek között

- Szubmarin vulkáni-üledékes folyamatokhoz kötődő hidrotermális ércesedés
- Elemasszociáció: Cu, Zn (Co, Pb)
- Jellemző ércásványok: pirit, kalkopirit, szfalerit, bornit, magnetit
- Jellemző meddőásványok: kvarc, karbonátok, albit, klorit, epidot, turmalin
- Telepforma: rétegtani szinthez kötött tömzsök, szegélyeiken réteges kifejlődéssel
- Szerkezeti kontroll: az üledékes összletnek megfelelő rétegződés
- Kőzetkörnyezet: bázikus tengeralatti lávafolyásokat fedő és piroklasztikumokkal összefogazódó törmelékes-üledékes sorozatok (metamorfizálva)
- Lemeztektonikai helyzet: keskeny óceáni riftzóna intenzív terrigén anyagfelhalmozódással
- Recens analógia: Guaymas Basin, Gulf of California
- Érctelepek: Besshi Zóna (Japán), Sullivan (Kanada), Kieslager telepek (Alpok), Erdély (Keleti-Kárpátok)

BBTE

2012.05.09.

Ércteleptan – 3. év

## Vulkáni-üledékes masszív szulfid telepek recens analógiája: Guaymas Medence



A masszív szulfid test ásványai:  
pirrotin, szfalerit, kalkopirit, cubanit, galenit, markazit, pirit, Mg-szmektit, anhidrit, aragonit, kalcit, barit, kovaásványok.



A képződő "érc" kémiai összetétele

SiO <sub>2</sub>	5-50 %
TiO <sub>2</sub>	0.1-0.2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1-3.0 %
MgO	0.5-26 %
CaO	0.0-25 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02-0.2 %
BaO	2-50 %
Fe	1-13 %
Zn	0.2-1.6 %
Cu	0.05-0.3 %
Pb	0.1-1.0 %
Mn	0.01-0.5 %
Ag	15-350 ppm
Au	0.05-0.2 ppm
Cd	4-70 ppm
As	25-280 ppm
Mo	0-30 ppm
Sb	0-400 ppm

### A hidrotermális oldatcirkuláció fluidumai:

1. Pórusvíz- és szénhidrogén mobilizáció a szill benyomulását követően
2. A hűlő mélységi intrúzió konvekciós rendszeréből a mélytörések mentén feláramló oldatok
3. A törések mentén behatoló tengervíz konvekciója a szill felett

BBTE

2012.05.09.

Ércteleptan – 3. év

## Az üledékes-exhalációs (SEDEX) hidrotermális ércesedések általános jellemzői (Molnár F.)

- Üledékfelhalmozódással egyidős szubmarin hidrotermális folyamatokhoz kötődő ércesedési típus, közvetlen vulkáni kapcsolat nélkül
- Elemasszociáció: Zn, Pb, Cu, Ag, Ba (Co, Au)
- Jellemző ércásványok: szfalerit, galenit, kalkopirit, pirit, pirrotin
- Jellemző meddőásványok: karbonátok, kvarc, barit, gipsz/anhidrit
- Telepforma: rétegzésnek megfelelően települt (sztratiform) masszív és rétegzett, oldalirányban kiékelődő, vertikális és horizontális zonációval jellemzett érctestek. Az érc eloszlása az üledékes fácieseket követi.
- Szerkezeti kontroll: riftesedés korai fázisához kapcsolódó extenziós medencék töréses zónáinak környezete, medencéken belüli lokális süllyedékek.
- Kőzetkörnyezet: sekélytengeri törmelékes és karbonátos összletek, flis (fekete palák, karbonátos palák)
- Recens analógiák: Atlantis II Deep, Vörös tenger

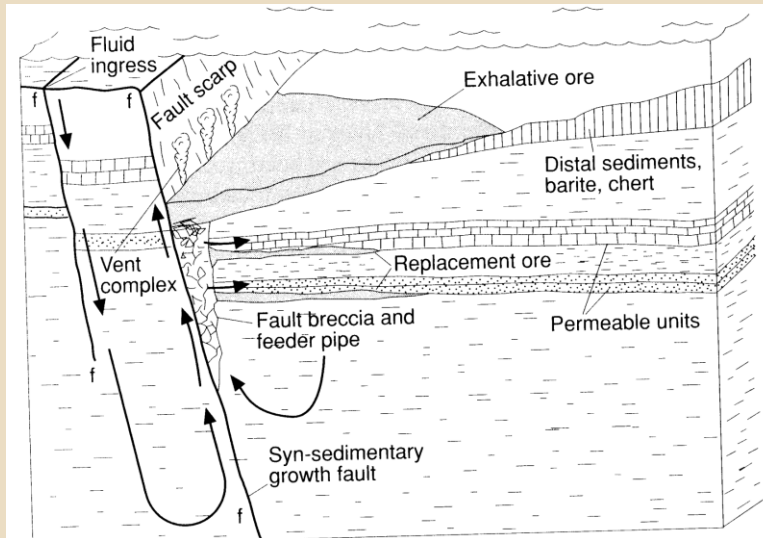
BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

## Üledékes-exhalációs (SEDEX) hidrotermális ércesedések készlet és koncentráció adatai (Molnár F.)

Lelőhely	Fő ércalkotó elem	Készlet millió tonna	Koncentráció	Kor
HYC McArthur River Ausztrália	Pb, Zn	2	10% Zn 4% Pb	Alsó Proterozoikum
Rammelsberg Németország	Zn, Pb, Cu, Ag, Ba	22	19% Zn 9% Pb 1% Cu	Devon
Meggen Németország	Zn, Pb, Ba	60	10 % Zn	Devon
Red Dog Alaszka, U.S.A	Zn, Pb, Ag	77	17% Zn 5% Pb 82 g/t Ag	Karbon/Perm

BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

## Üledékes-exhalációs (SEDEX) hidrotermális Pb-Zn ércesedések genetikai modellje (Robb, 2004)



BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

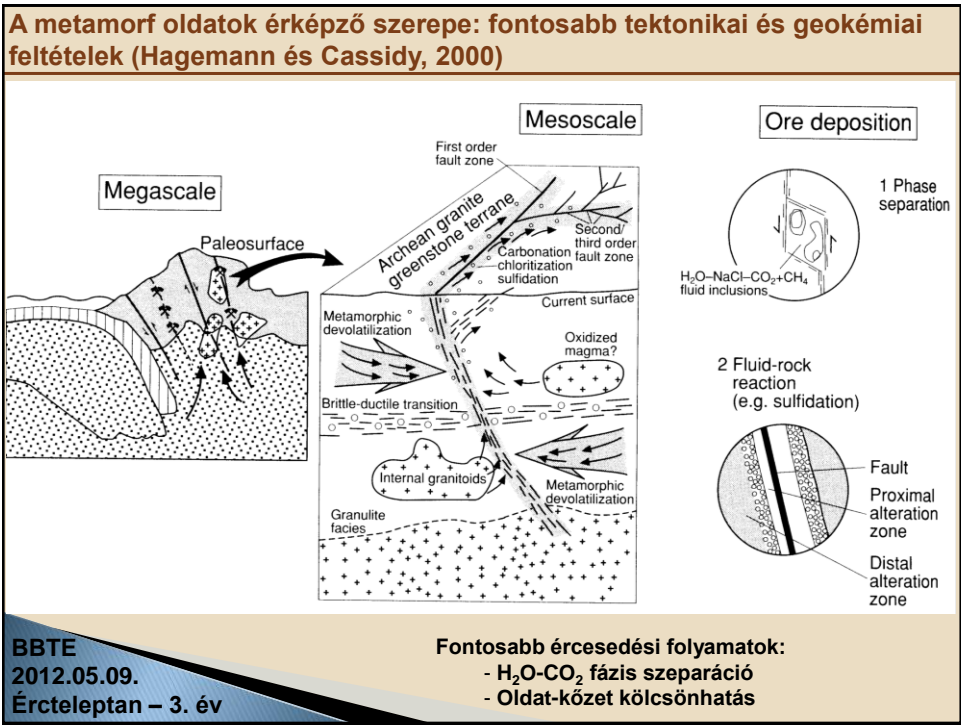
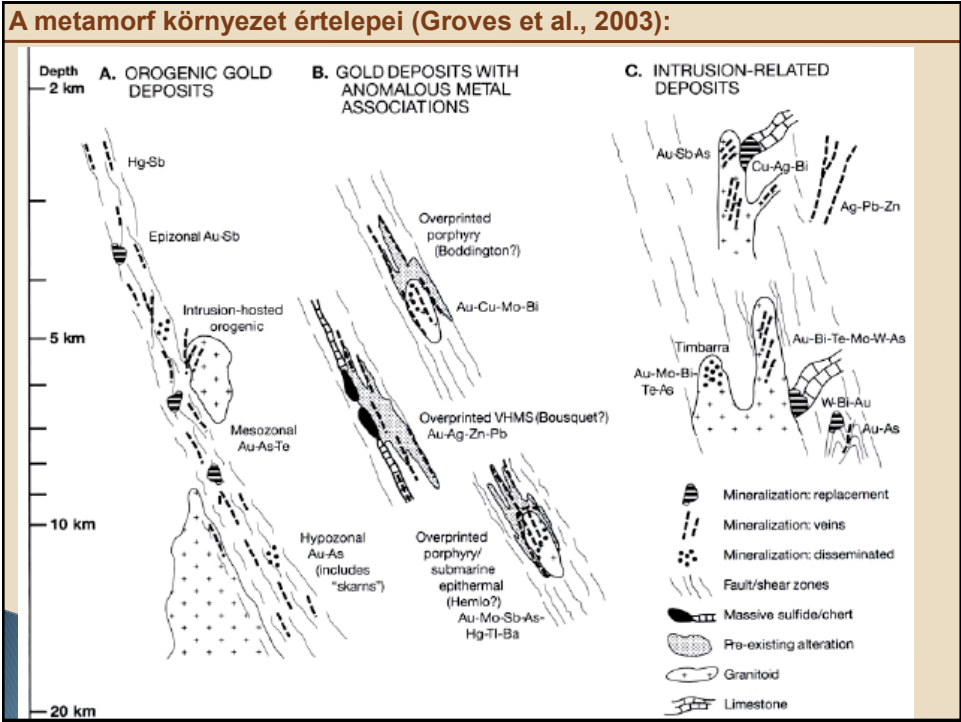
A SEDEX modell úgy az exhalációs ércesedési feltételekkel („exhalative ore”) mint a helyettesítési folyamatokkal („replacement ore”) számol.

### Metamorf oldatok ércképző szerepe:

***Nyírási zónához kapcsolódó arany ércesedések (orogén vagy mezotermális telepek)***

BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

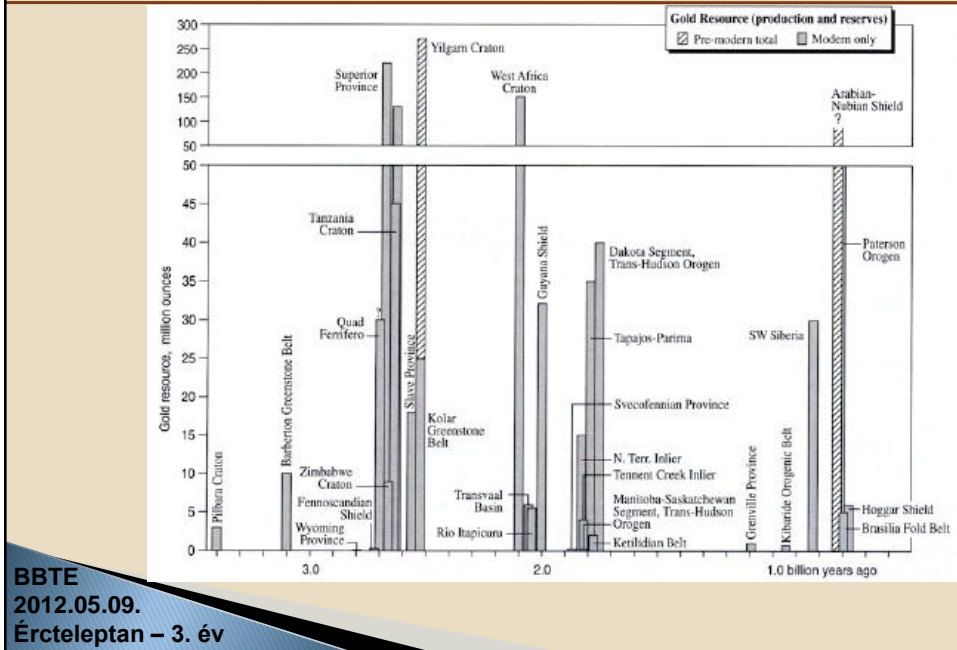




BBTE  
2012.05.09.  
Érteletan – 3. év

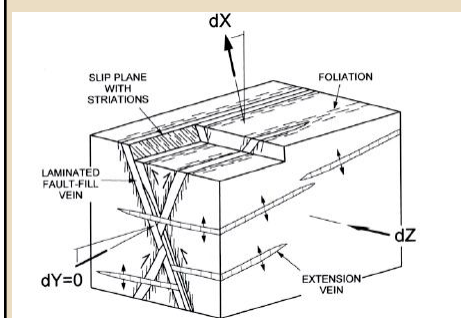
**Fontosabb ércesedési folyamatok:**  
- H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fázis szeparáció  
- Oldat-kőzet kölcsönhatás

## Az orogén aranyércesedések időbeni eloszlása és készlet adatai (Goldfarb et al., 2005)



## Az orogén aranyércesedések kialakulásának szerkezeti kontroljai

### Huachon (Peru)

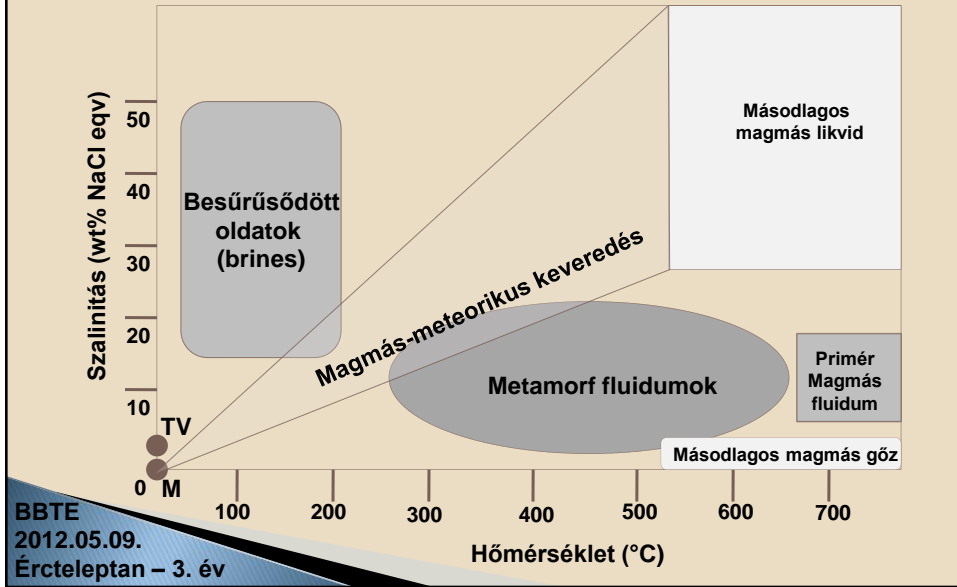


Kompressziós környezetre jellemző konuált törések és az ércesedést hordozó telérek kapcsolata



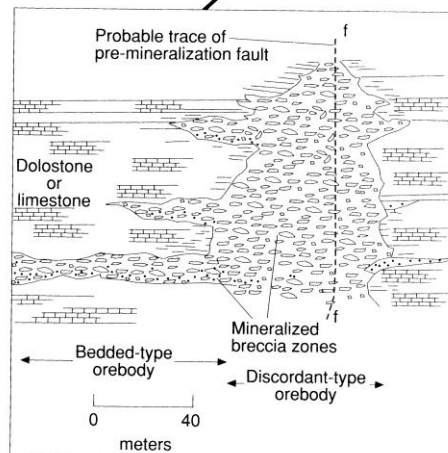
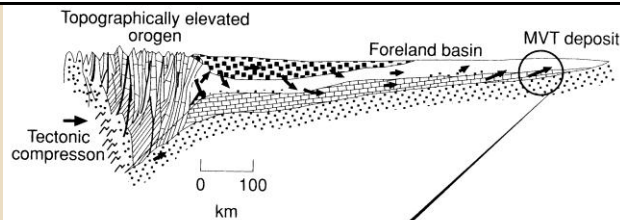
**BBTE**  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

**A rétegvizek (üledékes medencék besűrűsödött oldatai) ércképző szerepe:  
Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések (MVT, SSC)**

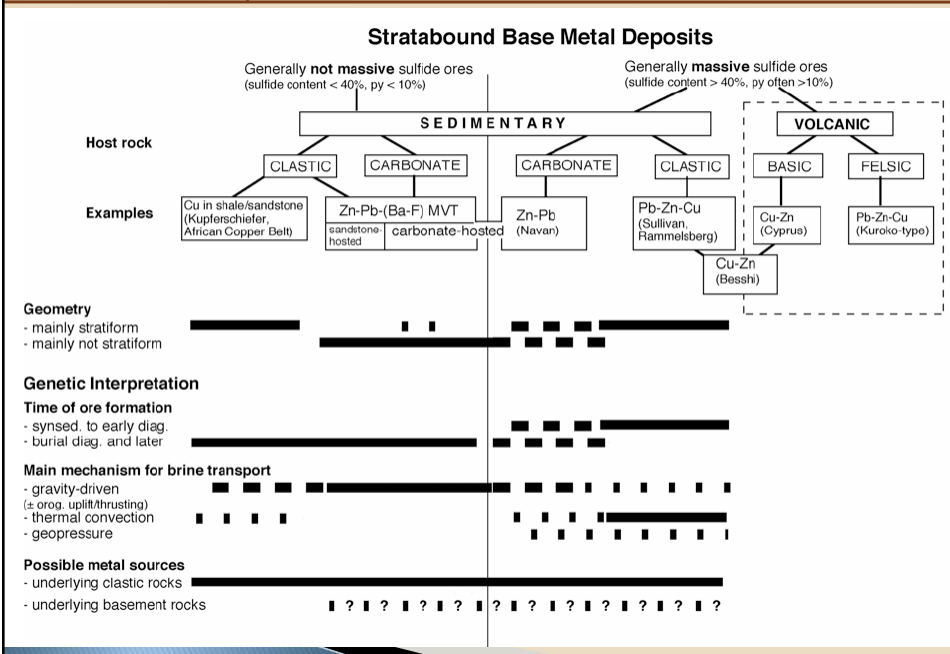


**Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn ércesedések (MVT)**

BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év



**Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések (MVT, SSC), Fontboté and Boni, 1994**

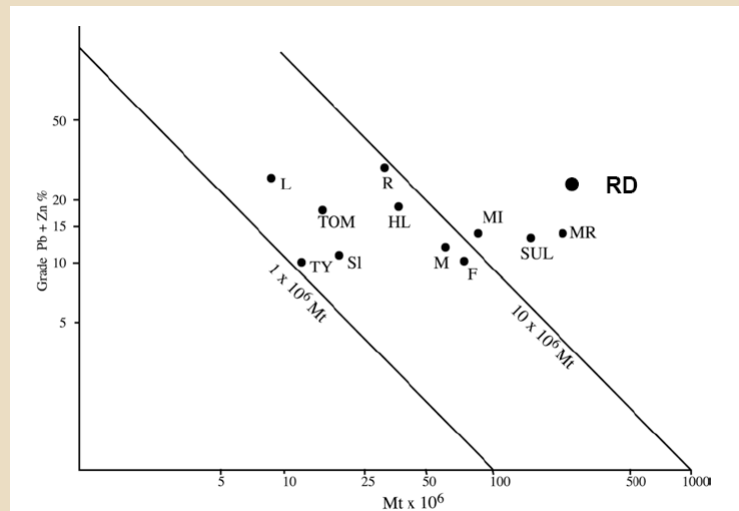


**Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések - készletek**

Deposits	Grade Pb%	Zn%	Size Mt	Age	First-order Basin	Age Range of Basin-Sediments	Other Deposits	Review Refer
Red Dog	20%	Zn+Pb	150	Carboniferous		Carboniferous		Leach et al. (2005)
Rammelsberg	9	19	30	Eifelian (Middle Devonian)	Variscan Trough	Devonian-L. Carboniferous	Eisen (BaSO <sub>4</sub> ), Auerhahn (minor)	Hannak, 1981
Meggen	1.3	10	60	Givetian (Middle Devonian)				Krebs, 1981
Mount Isa	7.1	6.1	88.6*	Mid Proterozoic (1670 Ma)	Leichhardt River Fault Trough	Mid Proterozoic	Hilton, Lady Loretta, Dugald River	Mathias and Clarke, 1975
McArthur River	4.1	9.2	237	Mid Proterozoic (1690 Ma)	Batten Trough (McArthur Basin)	Mid Proterozoic		Williams, 1980 Lambert, 1976
Sullivan	6.6	5.7	155	Mid Proterozoic	Purcell-Belt Basin	Mid Proterozoic		Hamilton et al., 1983
Tom	8.4	8.6	9	U. Devonian	Selwyn Basin	Cambrian-Carboniferous	Faro, Howards	Came, 1979
Tynagh	4.9	4.5	12.3	Courseyan (L.Carb.)	? Central Irish Basin	Carboniferous	Pass, Cirque Navan, Keel	Cathro, 1978 Russel, 1975 Taylor and Andrew, 1978
Silver-mines	2.8	7.4	18.4					

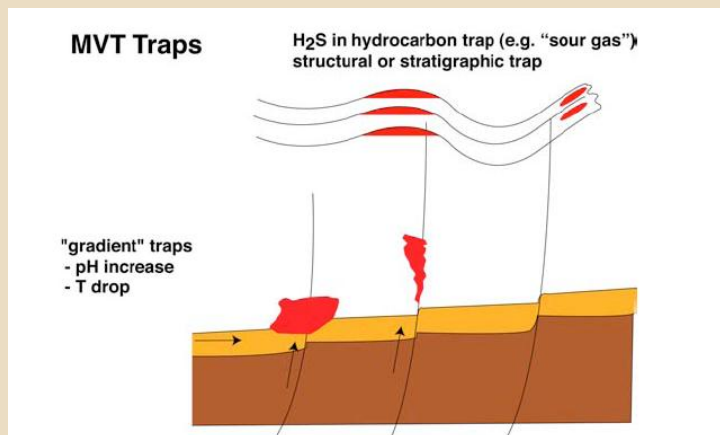
**BBTE**  
**2012.05.09.**  
**Ércteleptan – 3. év**

### Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések - készletek



BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

### Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések – ércképződési modellek (Fontbote L.)



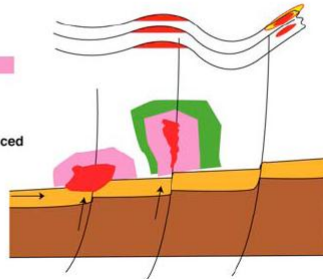
BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év

## Rétegtani szinthez kötött Pb-Zn-Cu ércesedések – kőzet átalakulások (Fontbote L.)

MVT Alteration: Not always present  
and not always visible!

### Some possibilities:

- dolomitization ■
- silicification (if T drops) ■
- marcasite halo ■
- rare: sericite halo
- very rare kaolinite (acidity produced  
by sulfide precipitation)



BBTE  
2012.05.09.  
Ércteleptan – 3. év