



Elektromágneses módszerek geofizikai-földtani alkalmazásai

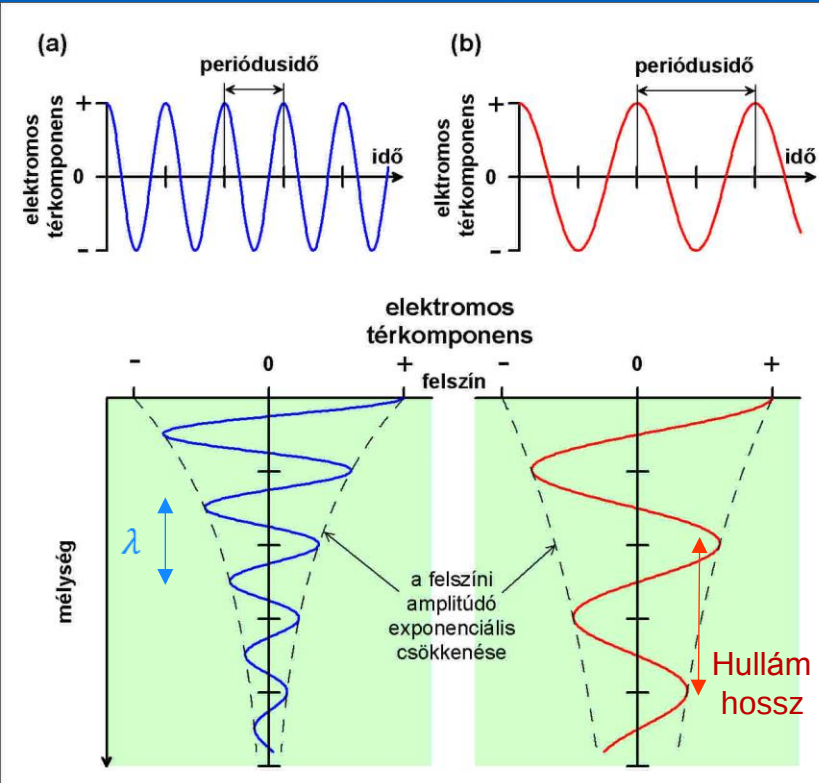
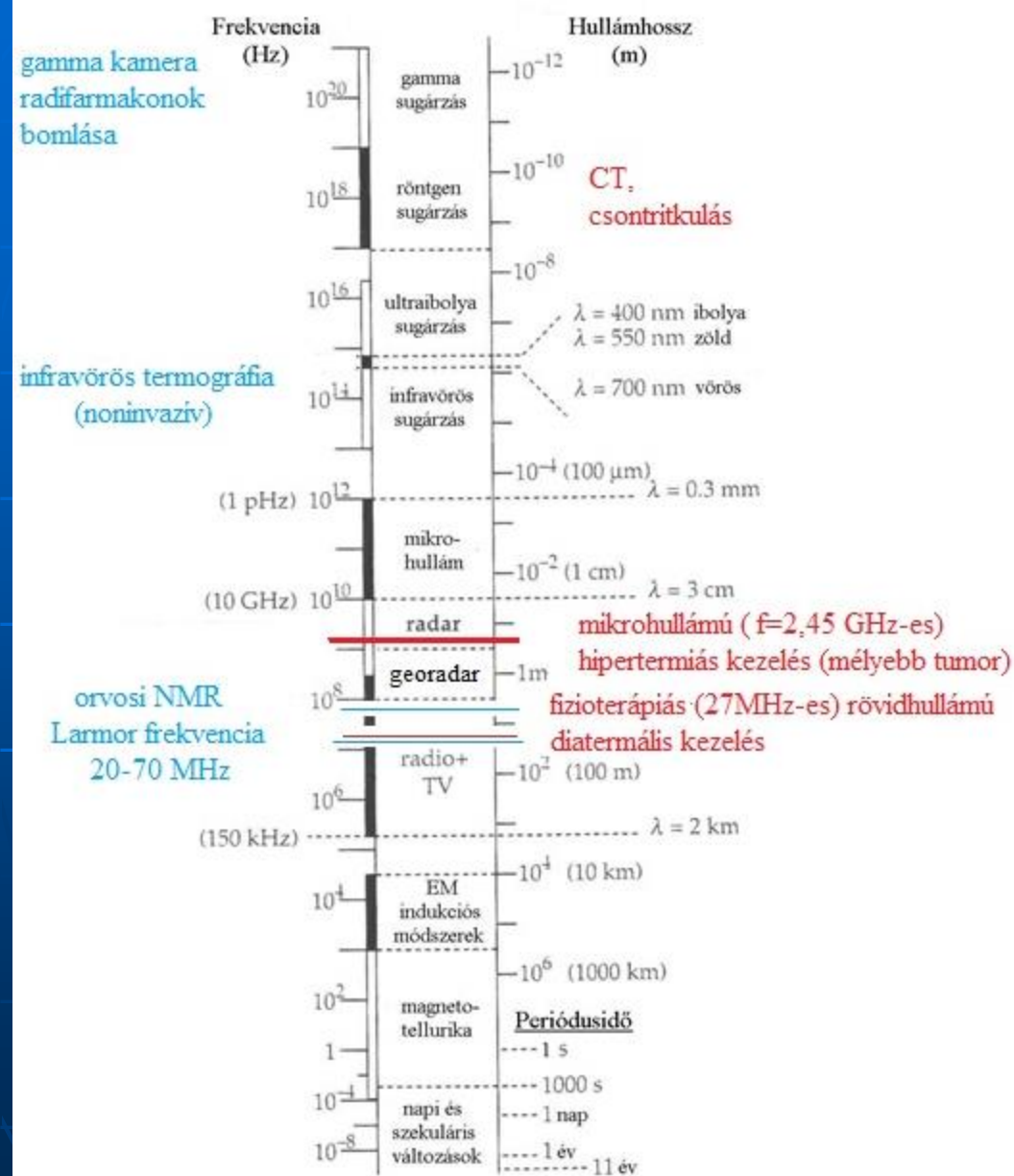
Pethő Gábor (Miskolci Egyetem)

Elektromágneses és mechanikus hullámok az orvosi
diagnosztikában és a földtani kutatásban (MGE és MTT)

EM spektrum

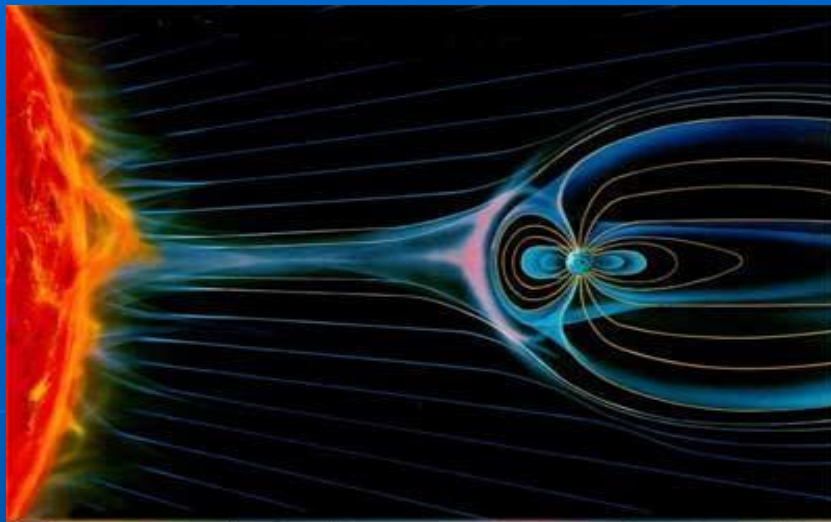
EM tér jellemzése

Periódusidő, amplitúdó, hullámhossz, terjedési sebesség jellemzei. Elnyelődését a frekvencia mellett elsősorban az elektromos vezetőképesség és nagy frekvenciákon a dielektromos állandó is befolyásolja.

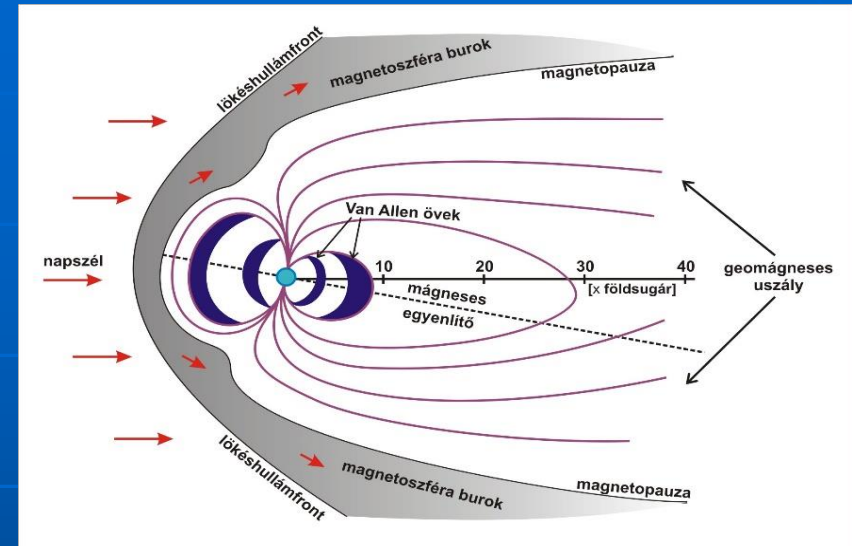


Szkin effektus: a kisebb frekvenciájú EM tér (piros színnel) ugyanazon közegbe mélyebbre behatol, és a behatolási mélység annál nagyobb minél nagyobb a felszíni közet fajlagos ellenállása.

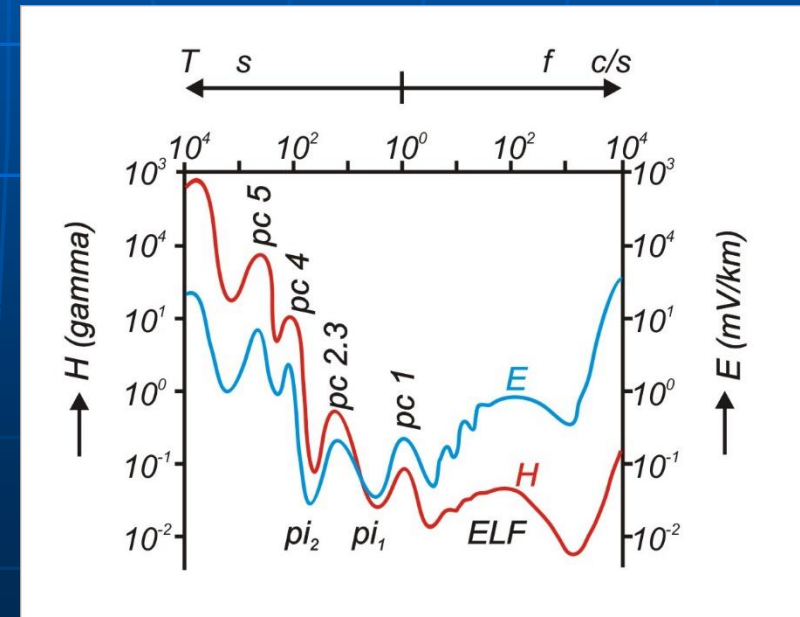
A természetes eredetű EM tér (magnetotellurika módszerének) forrásai



Magnetosphere of the Earth is formed by the interaction of solar wind and the magnetic field of the Earth

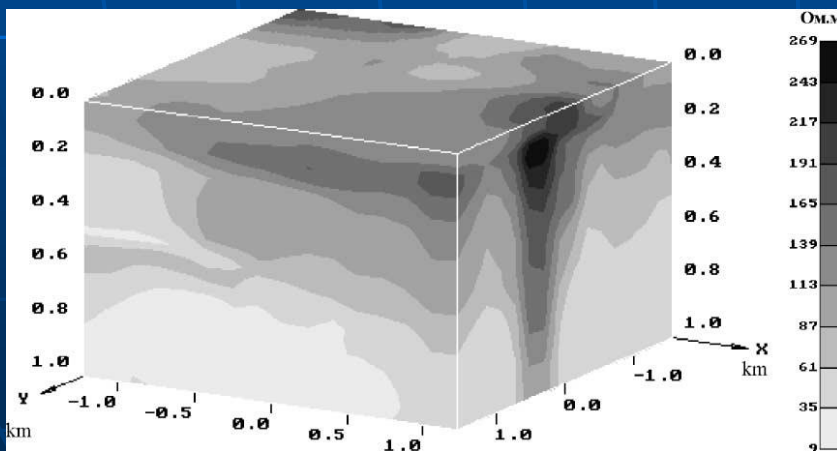
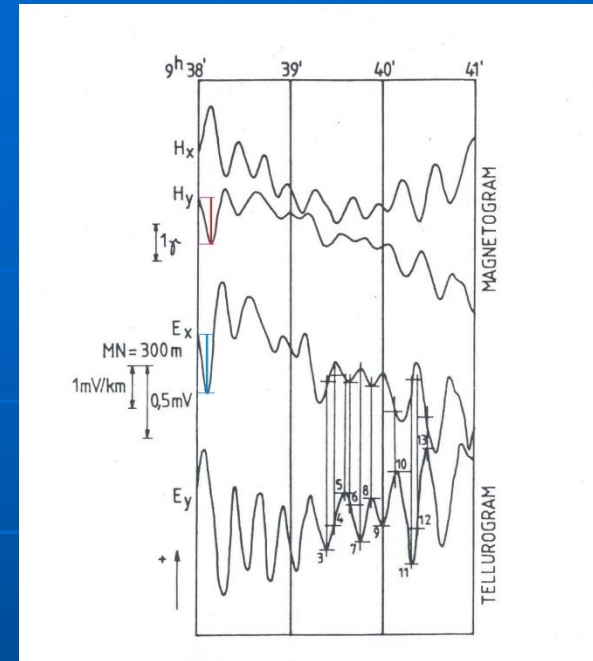
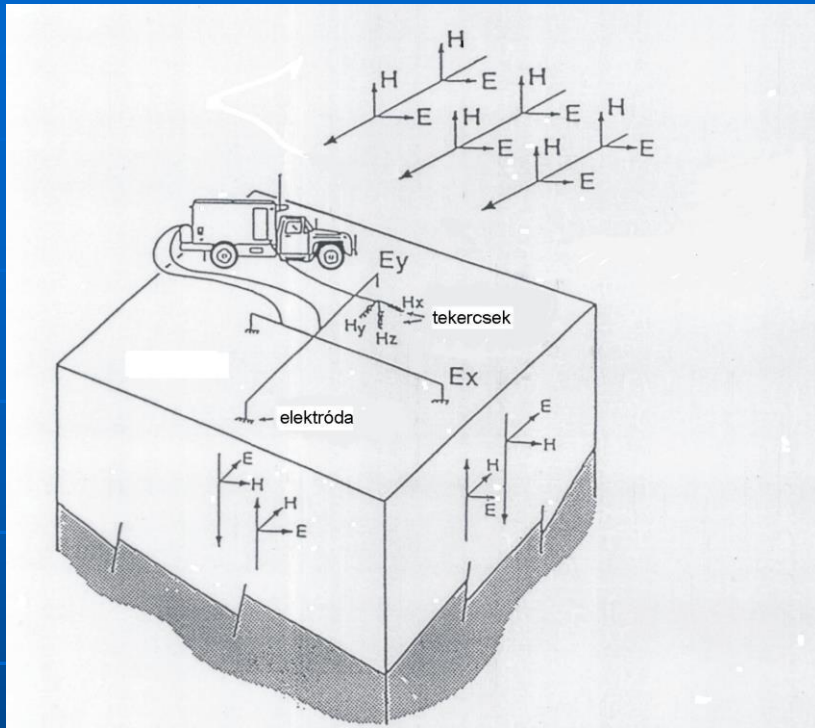


A magnetoszféra aszimmetrikus. A magnetopauza szerepe. A nagy periódus idejű változások (a spektrum 2-3Hz-nél kisebb frekvenciájú, baloldali része) a Napból érkező töltött részecskék és földi mágneses tér kölcsönhatása révén alakul ki. Itt jelentkeznek a kváziszinuszos (pc) és a szabálytalan, impulzus jellegű (pi típusú) pulzációk. A 6 Hz-nél nagyobb és 50 Hz-nél kisebb frekvenciájú EM változások a zivatartevékenység, villámlások hatására jönnek létre a Föld felszíne és az ionosféra által határolt gömbreteg között. Schumann rezonancia frekvenciák: 8, 14, 20, 26, 33, 39, 45 Hz. Az ELF (Extremely Low Frequency, 3Hz-3kHz) tartomány felett a VLF (3kHz-30kHz) tartomány található.

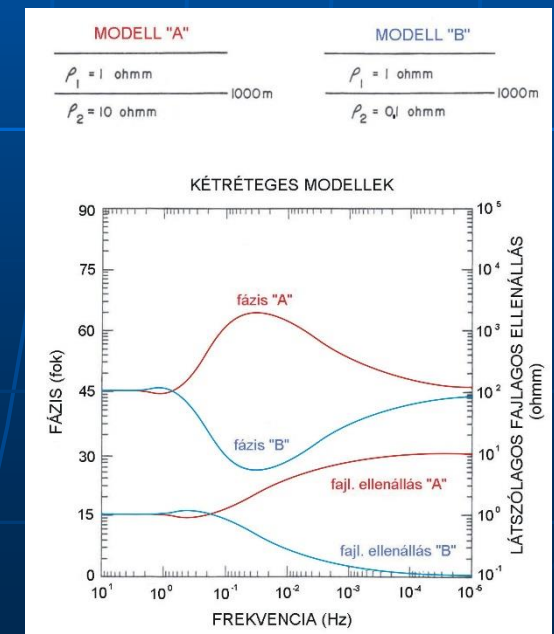


Magnetotellurikus frekvenciaszondázás

Mérési elrendezés (balra), az időben változó, egymásra merőleges **eredő** elektromos és mágneses térkomponens változásai (jobbra). A hányadosukból impedancia, abból látszólagos fajlagos ellenállás számítható. 1D-től bonyolultabb esetben az impedancia irányfüggő.

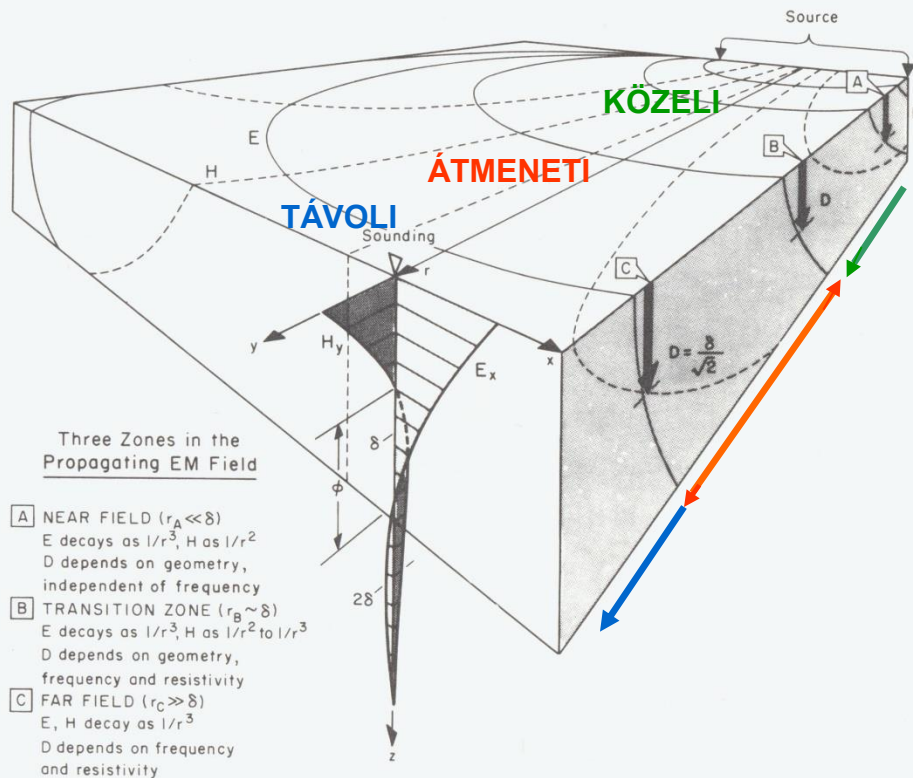


Két (A és B) modellre számított szondázási görbék (jobbra). Balra: terepen mért értékekből és a hozzájuk tartozó periódusidőből leszámaztatott fajlagos ellenállás mélységi eloszlása.



MESTERSÉGES ÁRAMTERŰ EM MÉRÉSEK

CSAMT(Controlled source audio magnetotelluric): konduktív gerjesztésű frekvencia tartománybeli mérés, célszerű a távoli zónában mérni



Közei zóna:

- nagyon jó jel/zaj viszony
- nincs frekvenciális felbontás

Átmeneti zóna:

- jó jel/zaj viszony
- van frekvenciális felbontás
- bonyolultabb az elmélete

Távoli zóna:

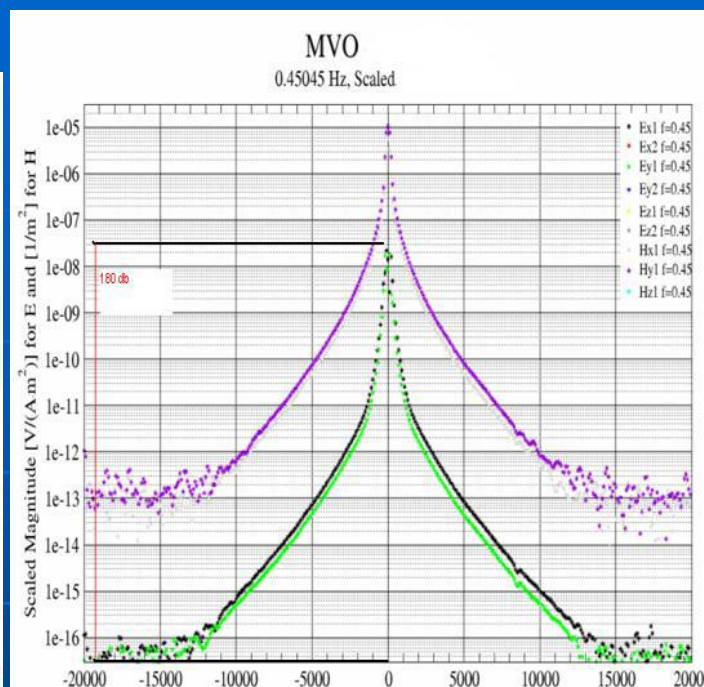
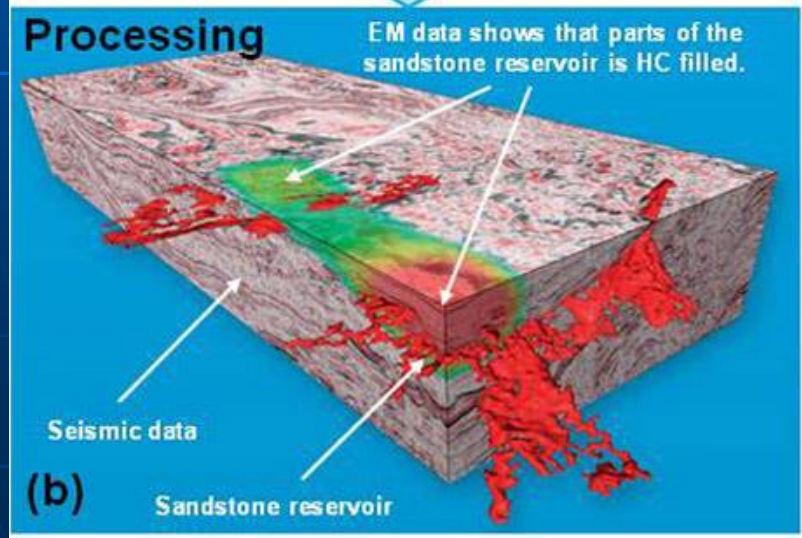
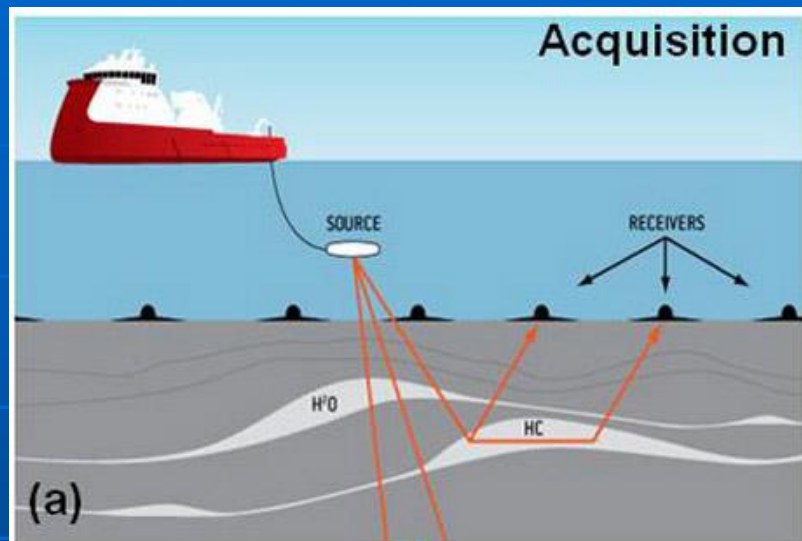
- romlik a jel/zaj viszony
- érvényes a síkhullámú közelítés
- könnyebb az értelmezés (MT)

Nabighian, 2000

MCSEM (marine controlled source electromagnetics)

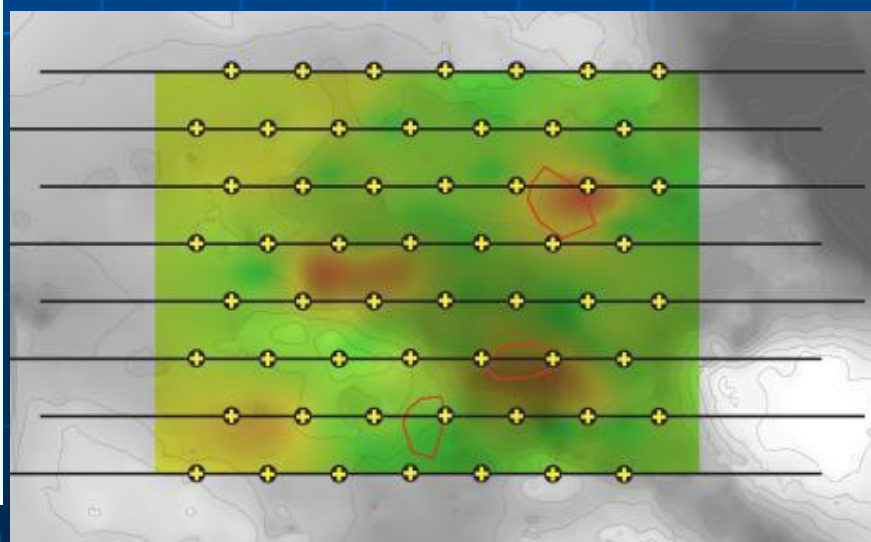
Mesterséges áramterű tengeri EM mérések

3D szeizmika + tengeri EM



A vonal mentén
mért elektromos
térfűsség CH
tároló felett
magnű.

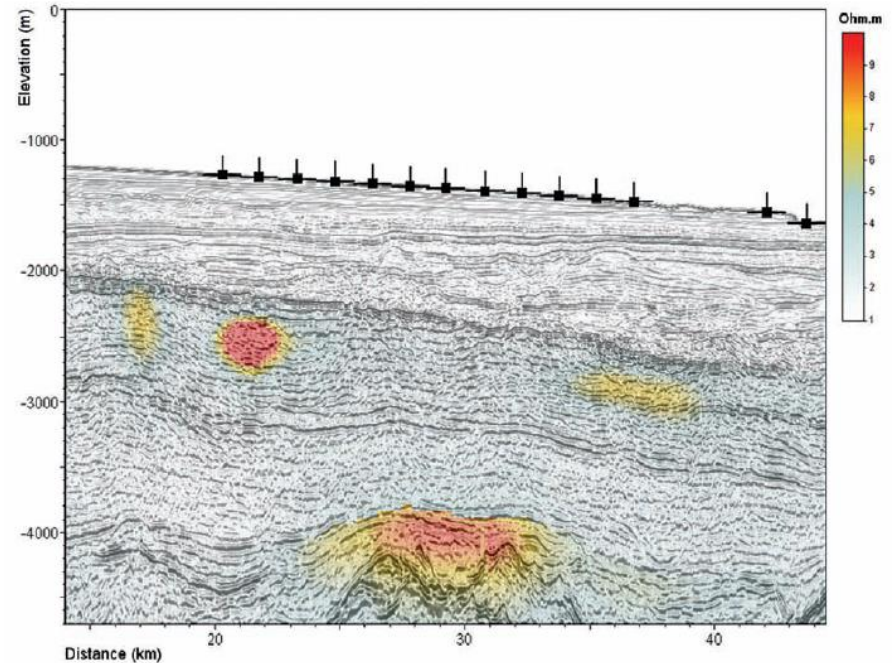
Tengerfenéki EM
mérésekbűl a
nagyobb
fajlagos
ellenállásű
tűrtartományok
lehatárolhatók.



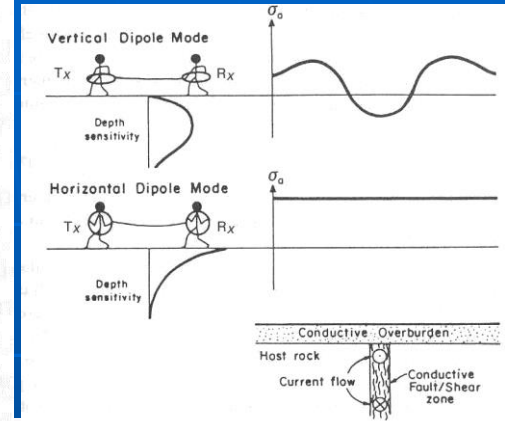
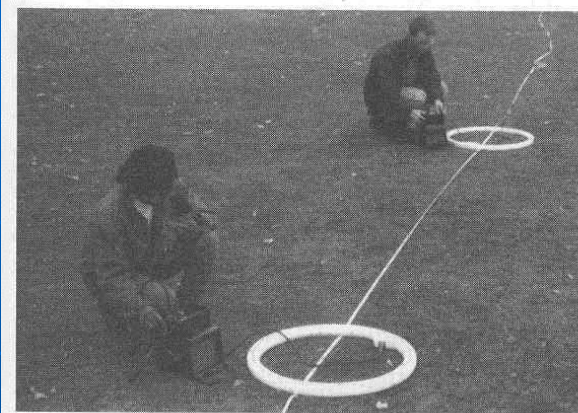
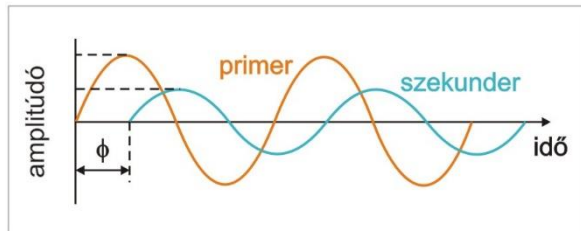
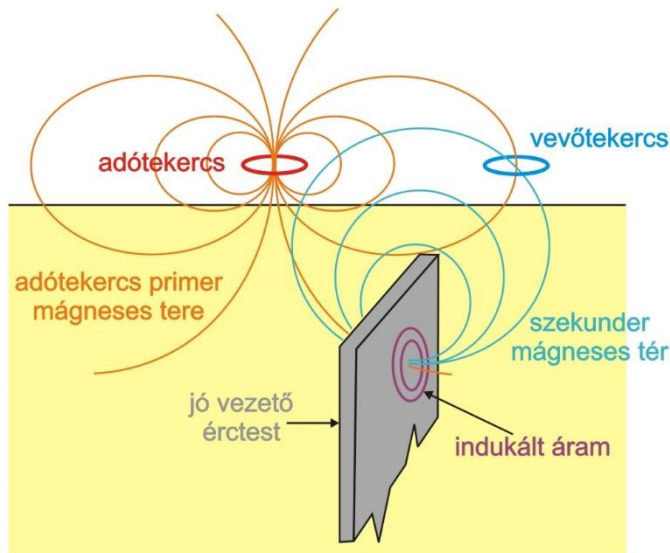
Grönlandi melletti CH kutatás tengeri EM és szeizmikus reflexió szintézise



Map showing the location of survey blocks offshore West Greenland.



Az indukciós módszereknél az EM teret tekercssel keltik, és az indukált áram mágneses terét is tekercssel mérik azon a frekvencián, melyen az adó tekercs adja a szinuszos mérőjelet.

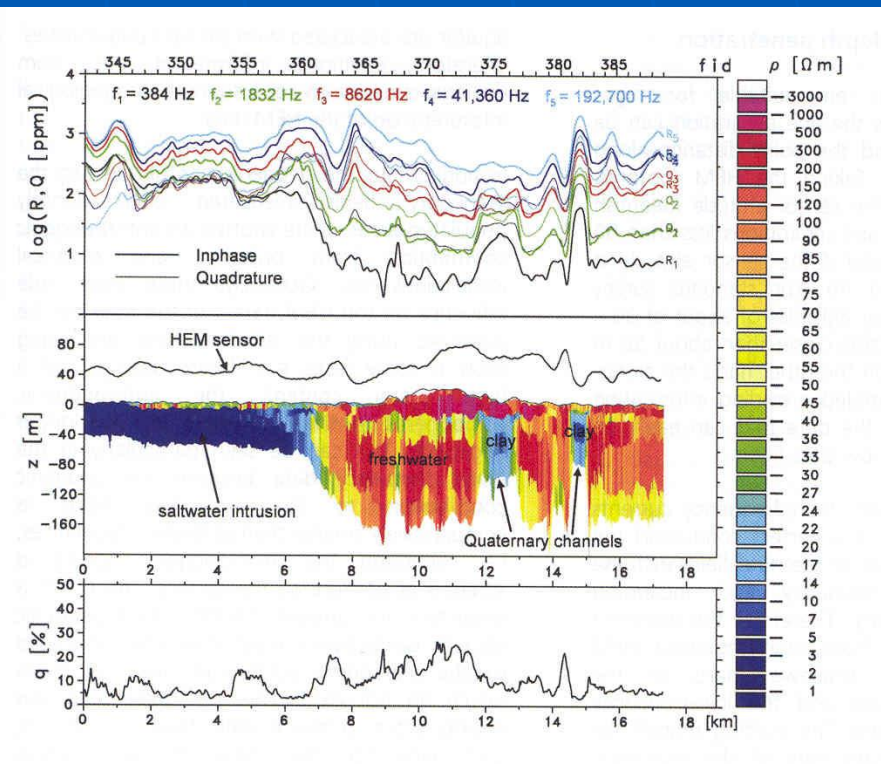
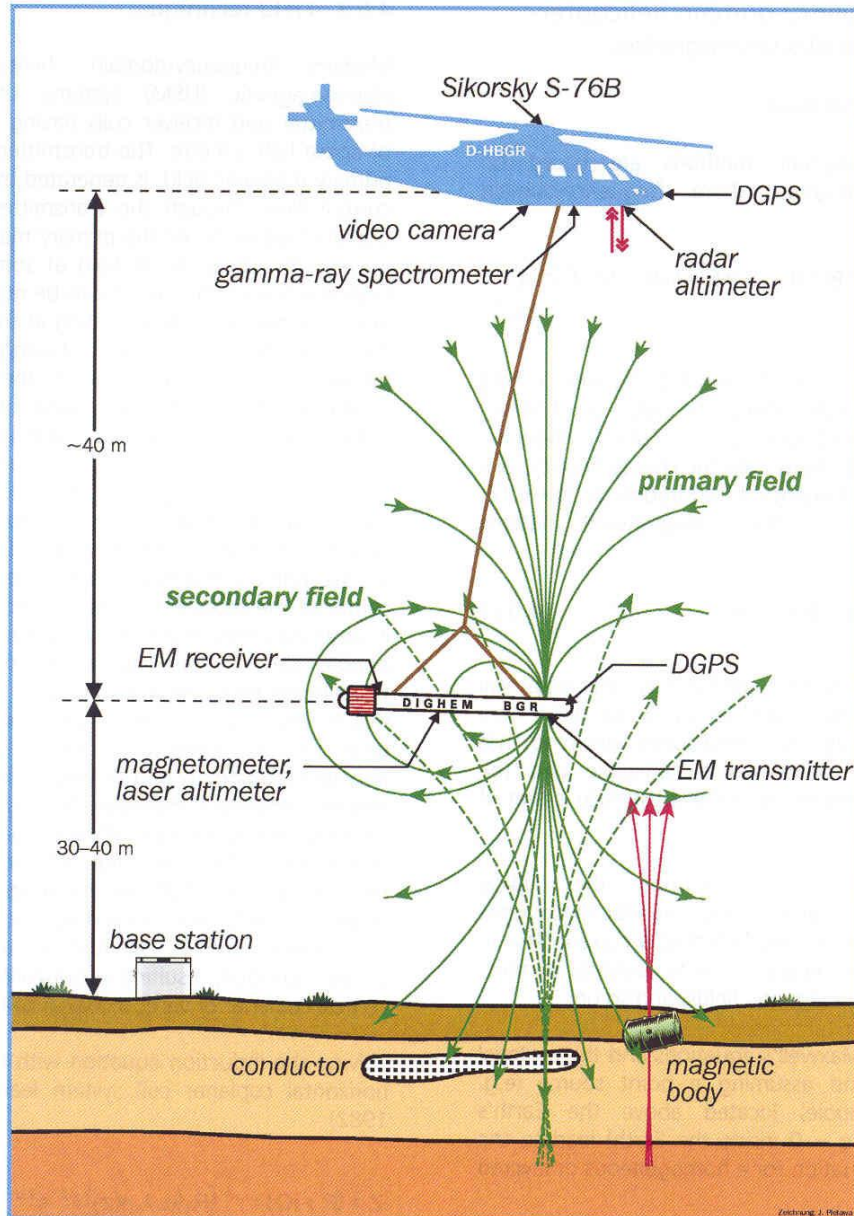


EM34-3

A baloldali ábrán a jóvezető ércetest helyett vízzel kitöltött jó vezető zóna is elképzelhető. EM 34 műszerrel általában két elrendezésben mérnek, az adó vevő távolság 10m, 20m, 40m a frekvenciák 6.4kHz, 1.6kHz, 400Hz. A legnagyobb kutatási mélység (60m) VMD elrendezésben érhető el (a tekercseket ilyenkor a földre fektetik). Víz - (pl. Afrika), érc kutatási és földtani környezeti ellenőrzési alkalmazások.

Légi frekvenciatartománybeli EM mérések,

40Hz-9000Hz között (a szkín hatás itt is
jelenkezik, 40-180m a behatolási
mélység). Természetes gamma és
mágneses mérés is van az EM-el együtt.

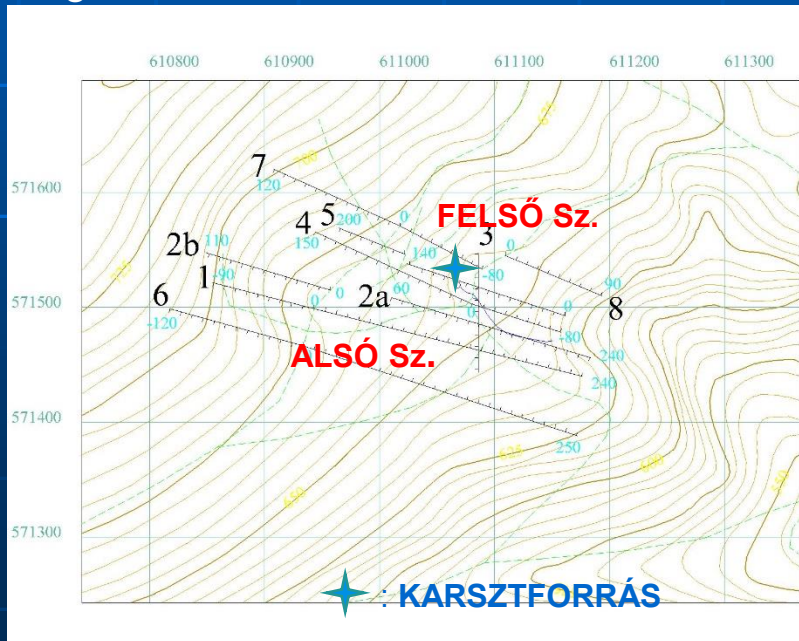


Bükk hegység (Szentlélek), egy karszt forrás hidrogeológiai környezetének jellemzése VLF (GBR, 16kHz) módszerrel

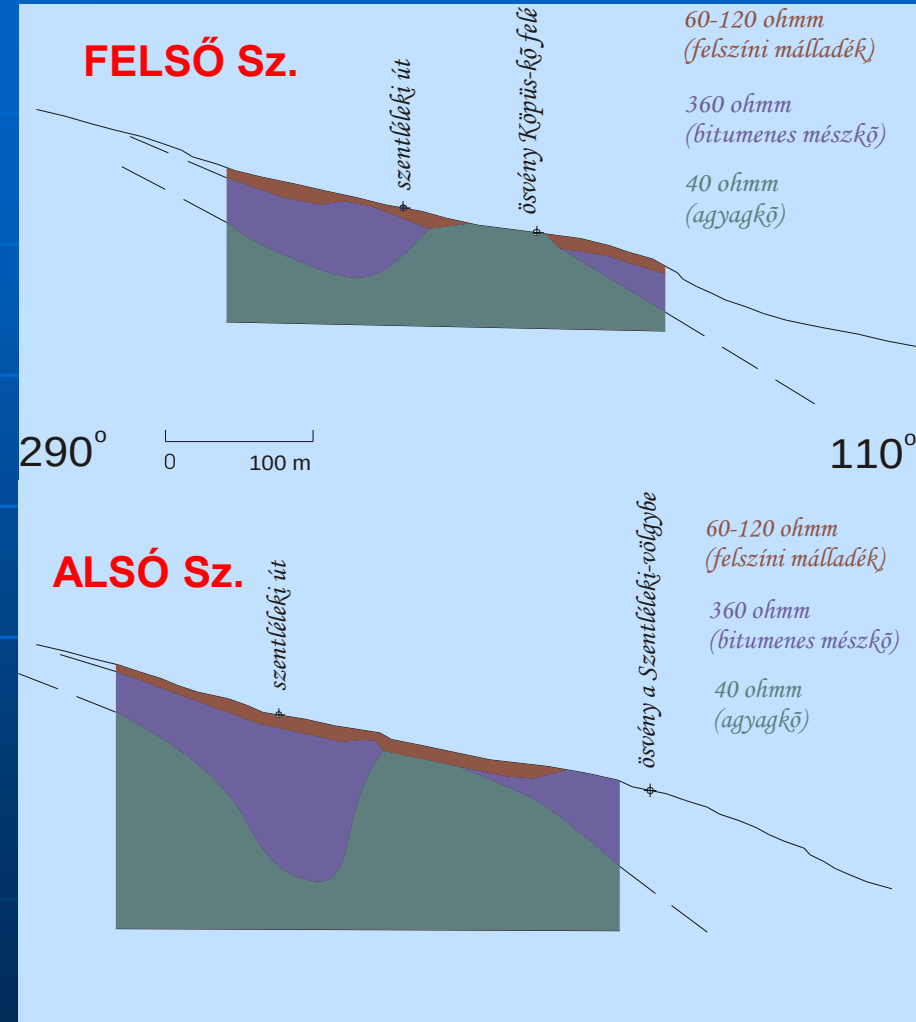
Nagyon alacsony frekvenciás „parazita” módszer (Kakas K., MÁELGI), a katonai adó vivőfrekvenciáján mérünk.

A mészkő - agyagkő határfelülete kimutatásának kedvezett az a tény, hogy az angol VLF adó iránya merőleges volt a szerkezet elnyúltsági irányra. (csapás irány).

Ha megtelik a kád....



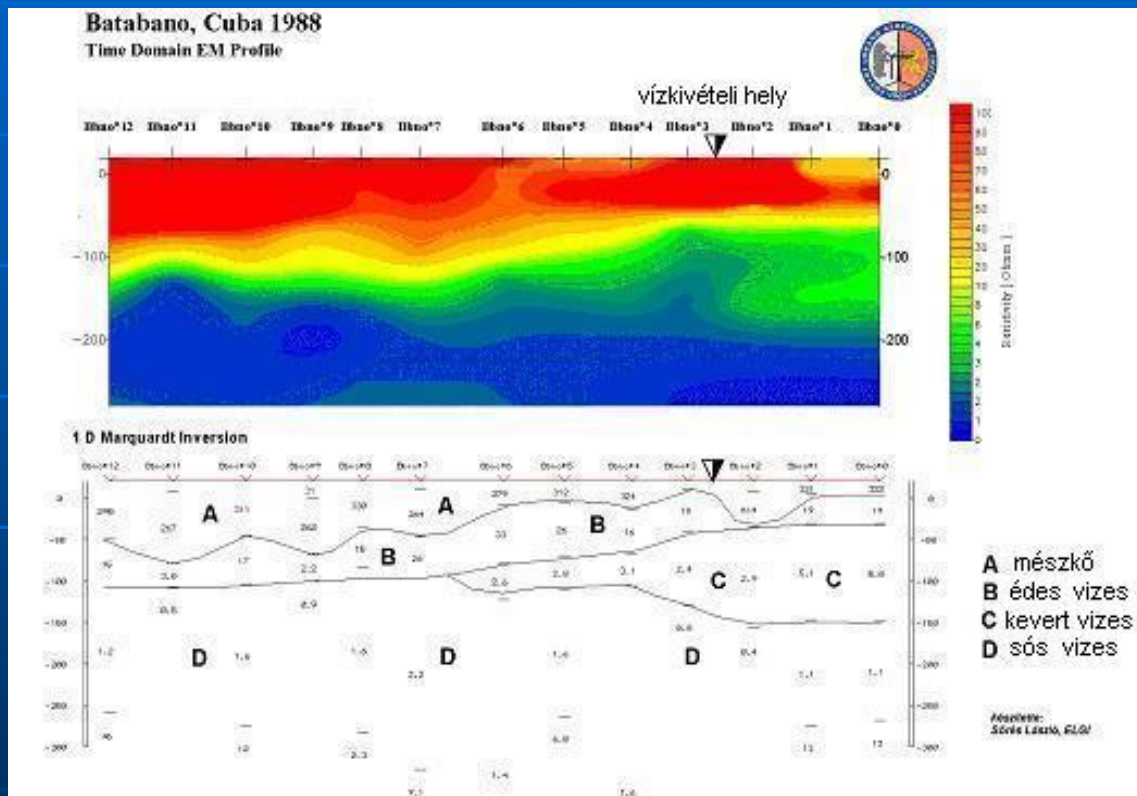
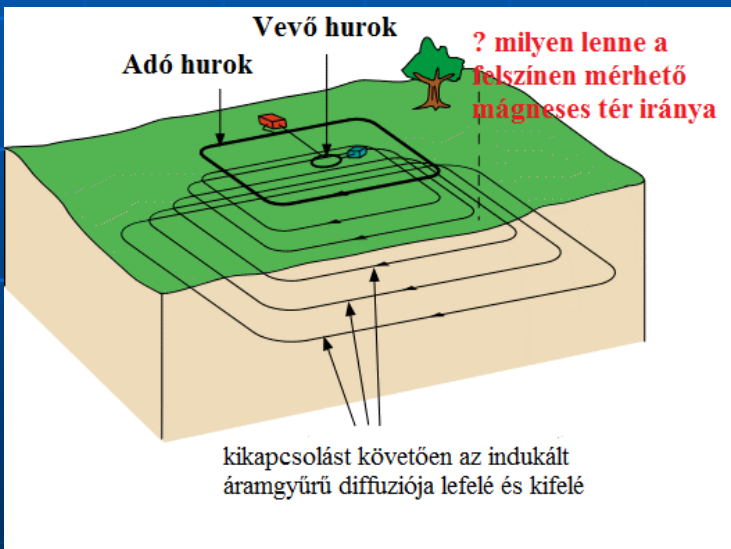
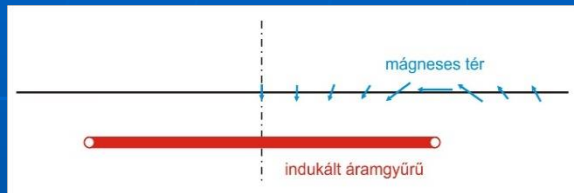
Németh N.-Pethő G.



2016.02.17.

Tranziens EM módszer

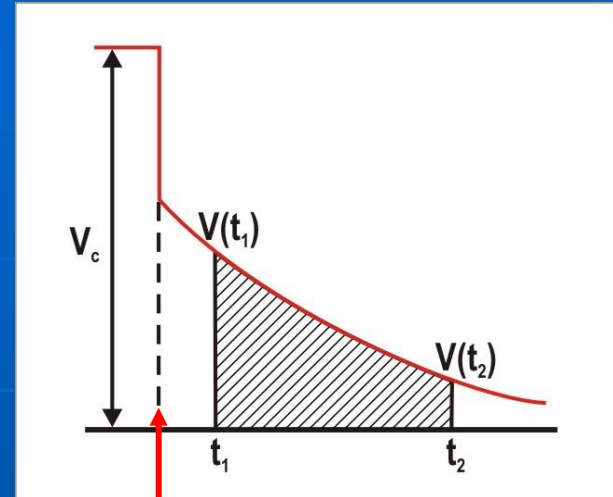
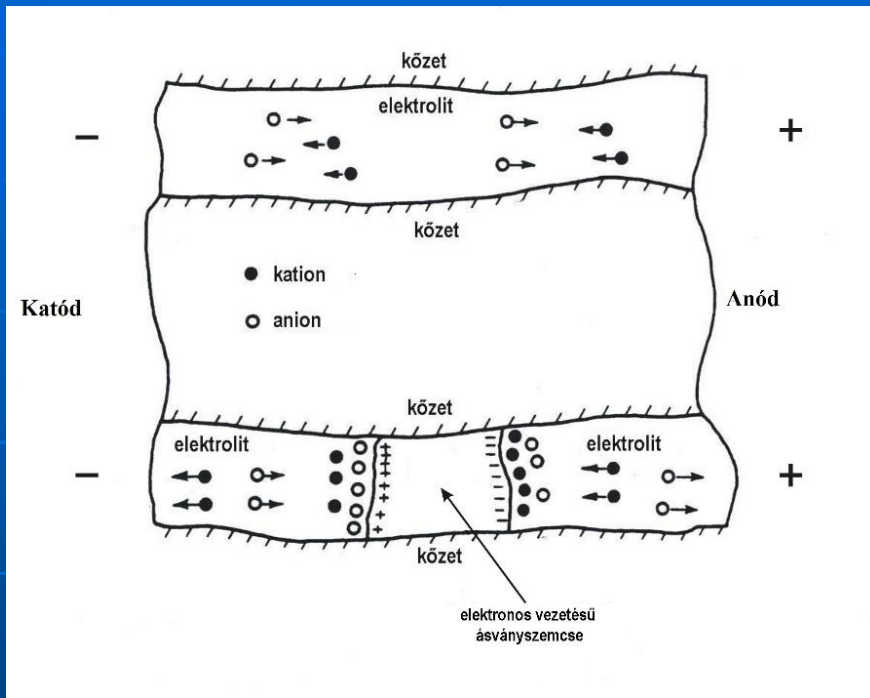
A módszer alapja, hogy a gerjesztő áram kikapcsolása miatti mágneses fluxus időbeli változás a talajban feszültséget indukál, melynek eredményeként a gerjesztő tekercs (vagy hurok) alakjához hasonló alakú indukált áramgyűrű jön létre. A felszín közelében a kőzetben kialakult áramgyűrű lefelé és kifelé terjed. A diffúzió sebessége az elektromos vezetőképesség és az eltelt idő szorzatának négyzetgyökével fordítva arányos. A diffúzív áramgyűrű terjedése idővel lelassul és jó vezetőben „megpihen”. A mérés automatizált.



Jobb oldali ábra: a vizsgált területen a zátony mészkőpad csupán 60-80 m vastag, alatta homok található. A vízkivétel részben mezőgazdasági célra, részben pedig Havanna ivóvízellátására történt. A tenger a szelvény bal oldalán van, amit a sósvíz szintjének balról jobbra történő süllyedése is tükröz. A sós vizes részt (D) nagyjából a kék szín mutatja, a kevert vizes részt (C), míg az édes víz (B) a homo legfelsőbb szintjében közvetlenül a mészkőpad alatt található. Forrás: Sörös L., MÁELGI

Gerjesztett Polarizáció (GP) időtartományban

Hintett ércesedés, elektróda polarizáció



gerjesztés
megszüntetése

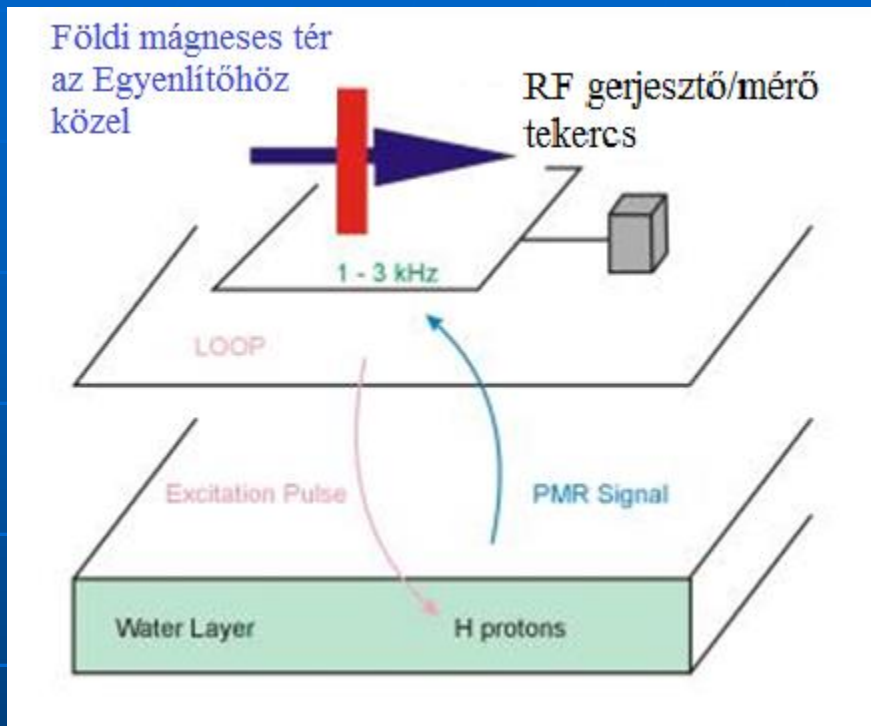
mérőelektrodák (M,N) között
mérhető lecsengő feszültség
különbség időbeli jellemzése több
információt ad, mint a görbe alatti
terület (látszólagos töltetőség).

Külső elektromos tér bekapcsolásának hatására először a szemcse polarizálódik: a szemcsén belül az elektronok az áramforrás pozitív sarka irányába fognak elmozdulni. Ehhez képest lassúbb folyamat az oldatban az ionok átrendeződése: a szemcse azon oldalán, ahol elektron többlet van, az oldatban a kationok koncentrációja megnő, ellentétben a szemcse ellentétes oldalával, ahol anion többlet alakul ki. A határfelületnél lévő negatív ionok (anionok) oxidációja révén semleges atom keletkezik, ugyanakkor az oxidáció révén keletkezett elektront átveszi az ásványi szemcse, így az ionosból elektronosba történő áramvezetés biztosított.

A lecsengő jelet fel lehet fogni különböző időállandójú diszkrét lecsengések összegére, hasonlóan a nukleáris mágneses rezonancia transzverzális relaxációs idő kiértékeléséhez.

Meggyőző laboratóriumi vizsgálatokat (Erkel András, Takács Ernő 1980-as évek eleje) később sikeres terepi mérések (Turai Endre) követték.

Felszíni NMR



SNMR módszer vázlata (IRIS Instruments)

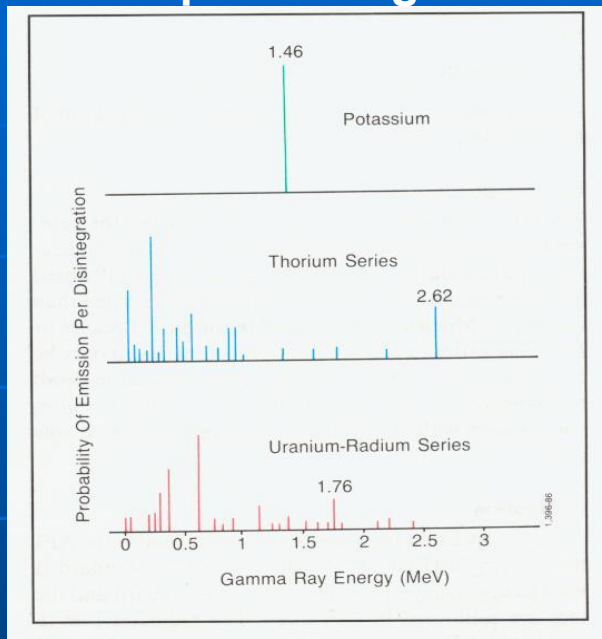
A gerjesztések közötti szünetben az adó tekercs vevő tekercsként működik.

A sztatikus mágneses tér a Föld felszínén mérhető mágneses tér (25-65 mikroTesla közötti érték), a gerjesztő áram frekvenciája az adott helyre jellemző Larmor frekvencia. A behatolási mélység a tekercsbe vezetett áram erősségének és a gerjesztési időtartam hosszának a növelésével fokozható. Jelenlegi rendszerek 100-150 m mélyre látnak le. A vertikális felbontás függ a víztartalomtól és a vízáadó réteg vastagságától. A horizontális felbontás a hurok méretétől függ (kb. 100m). Legfontosabb alkalmazása a felszín közeli vízáadó rétegek kimutatása.

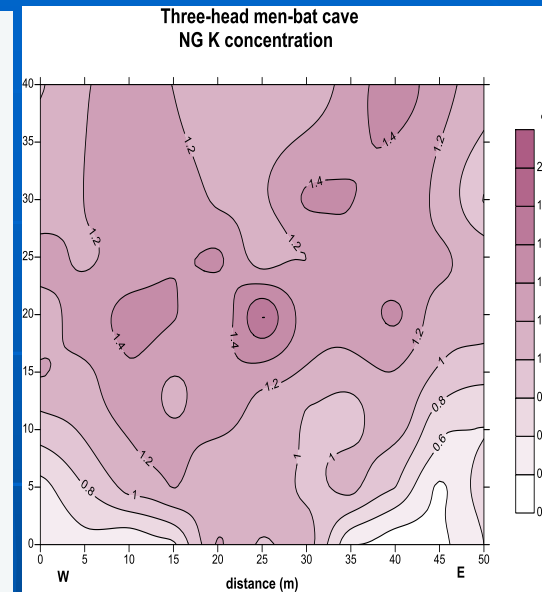
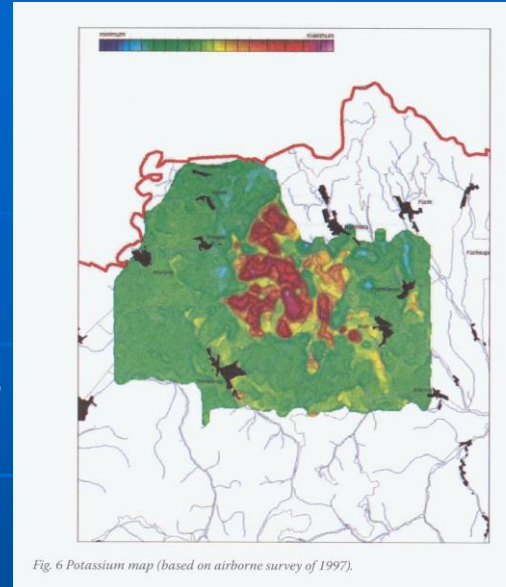
Természetes gamma mérések

Mérési hely szerint: légi, felszíni, bányabeli, fúrólukbeli (nyitott/béléscsőves).

Verziók: össz gamma
spektrális gamma



Fontos
radioaktív
izotópok:
K 40;
U 238, U
235,
Th 232 és
utóbbiak
instabil
bomlás-
termékei.

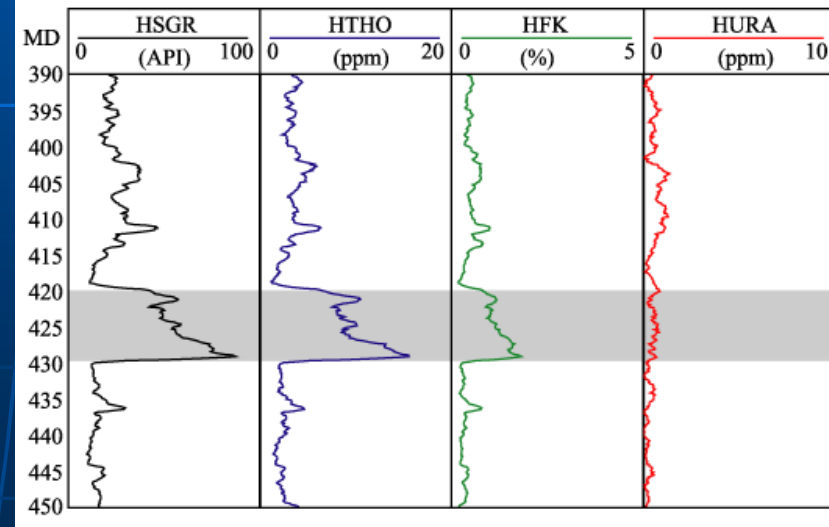


Perforáláshoz
mélységillesztés.

Gamma kamera
/radiofarmakonok

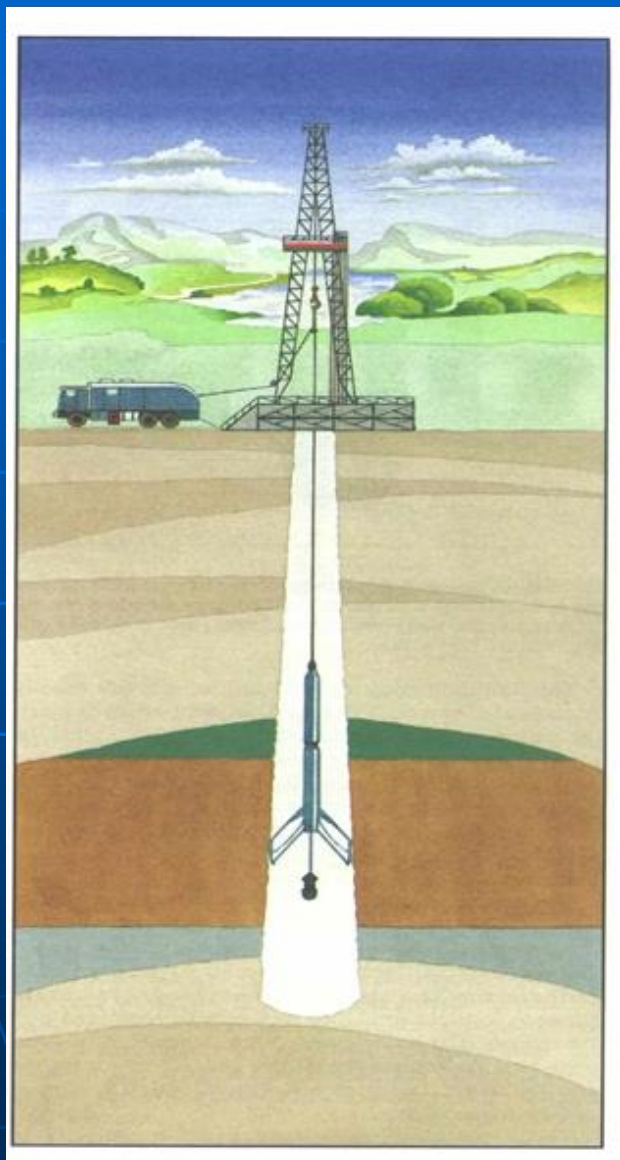


Fúrólukban
radioaktív
nyomjelzéses
monitoring.

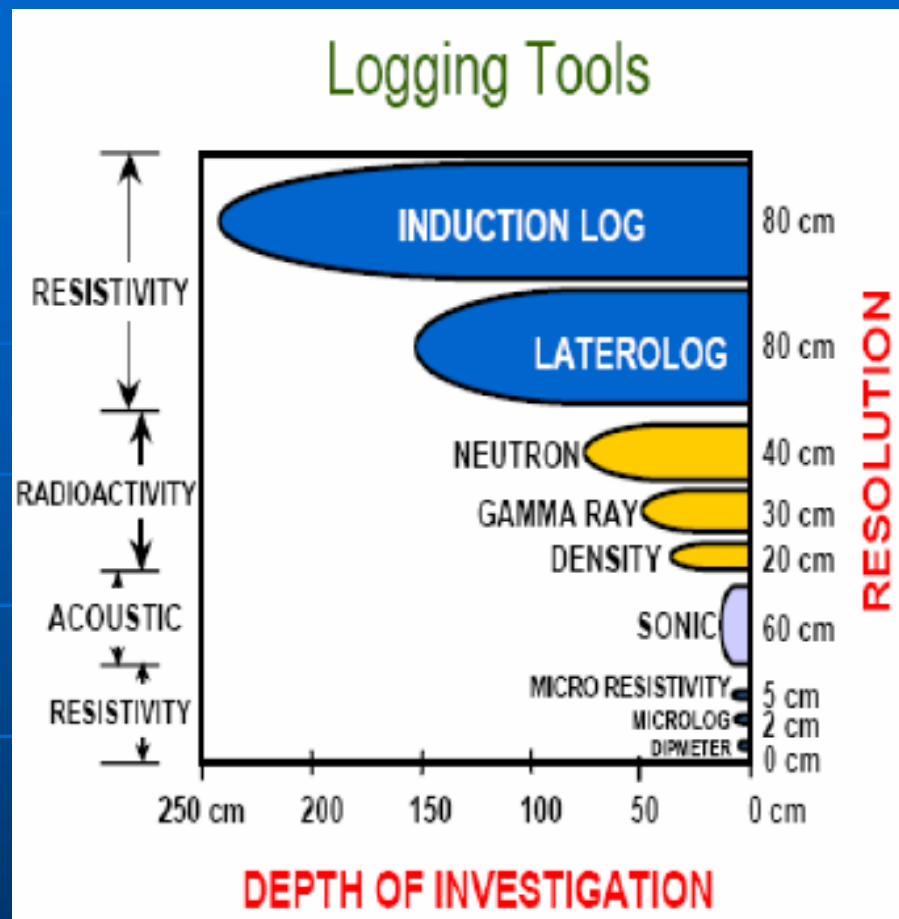


2016.02.17.

Fúrólyukbeli EM módszerek

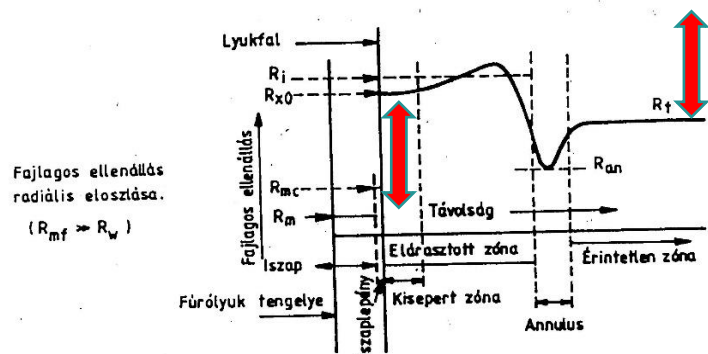
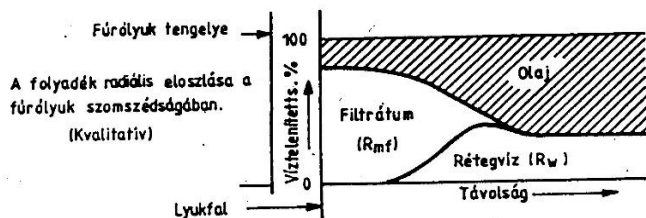
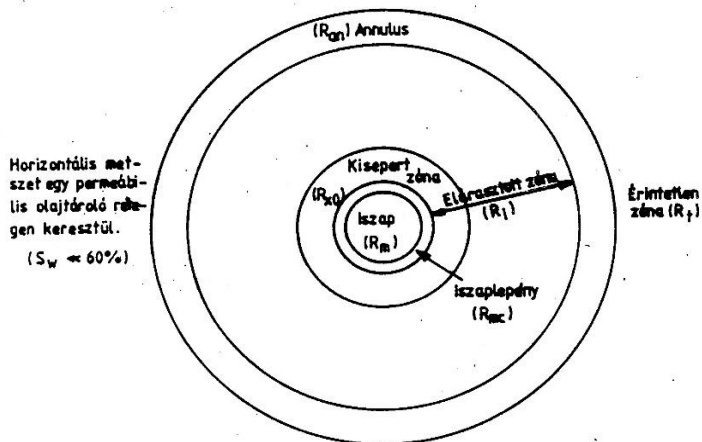


Schlumberger 1989



A különböző fizikai elveken alapuló módszerek eltérő behatolási mélységgel és vertikális felbontó képességgel jellemezhetők.

Porózus képződményben a fúrás hatására kialakuló zónák



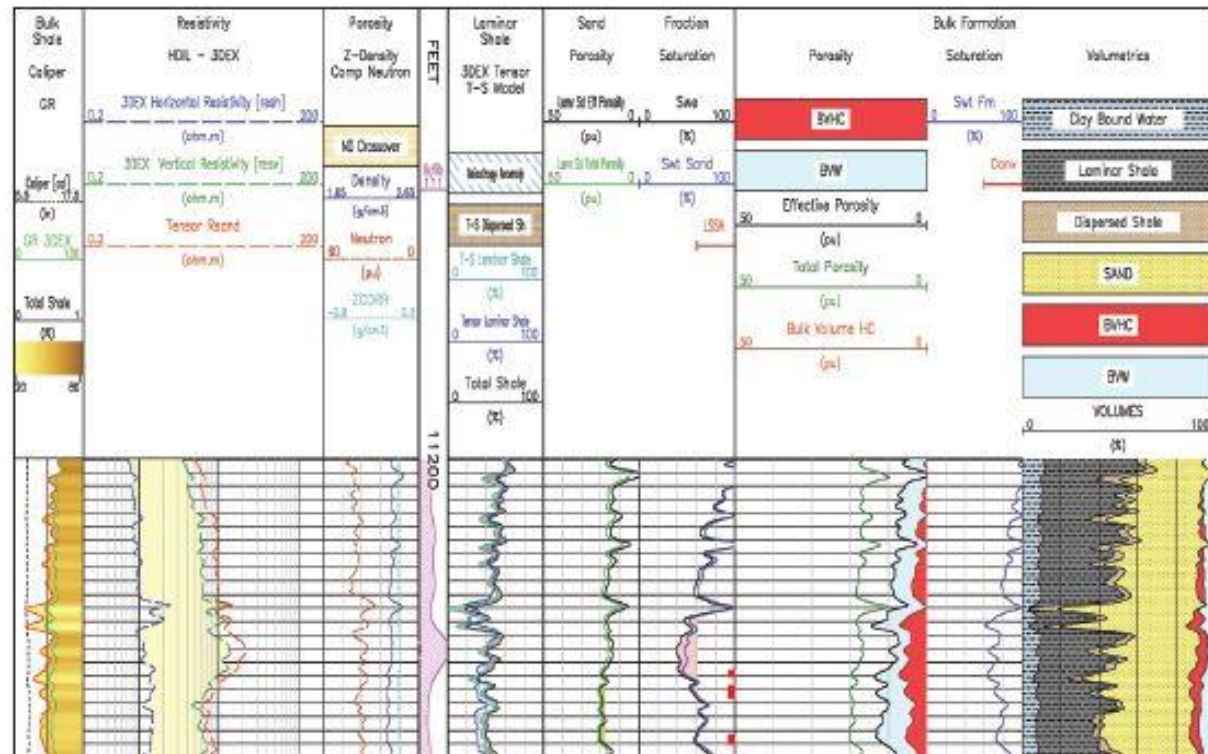
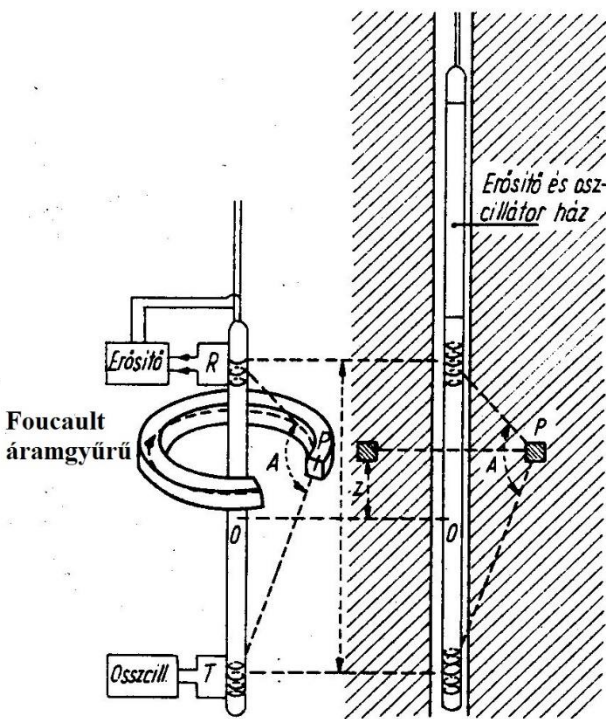
Miért és hol alakul ki az elárasztott zóna?
Iszapfiltrátum, rétegvíz, olaj együtt van.

Sugárirányban belülről kifelé haladva permeábilis zónát feltételezve: fúróiszap, iszaplepleny, kisepert zóna, kevert zóna, annulus, végül érintetlen zóna helyezkedik el. Bennünket főleg az érintetlen zóna érdekel(ne).

FOLYADÉK szaturáció radiális eloszlása.

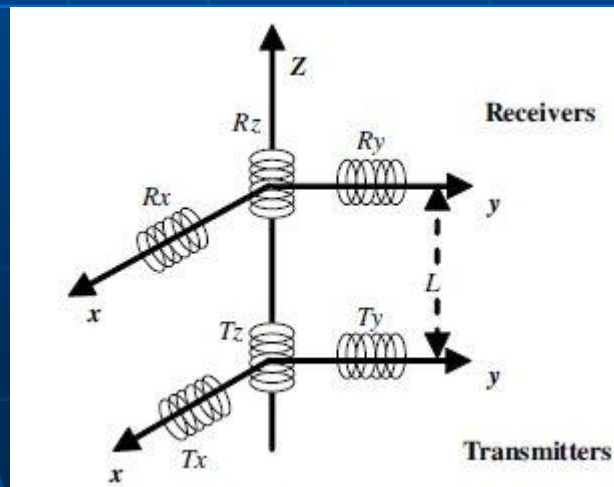
FAJLAGOS ELLENÁLLÁS radiális eloszlás, mely a szaturációs viszonyok és az egyes komponensek fajlagos ellenállásainak függvénye. Itt az *iszapfiltrátum fajlagos ellenállása nagyobb mint a rétegvízé. Sós iszapnál más a helyzet.* Csókás 1993

Fókuszált áramterű indukciós mérés



A tekercsek egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg a sugárirányú és a vertikális felbontást. Az indukciós szelvényezés a megoldás olajbázisú iszap esetén. Látszólagos vezetőképességet mérünk.

Csókás 1993

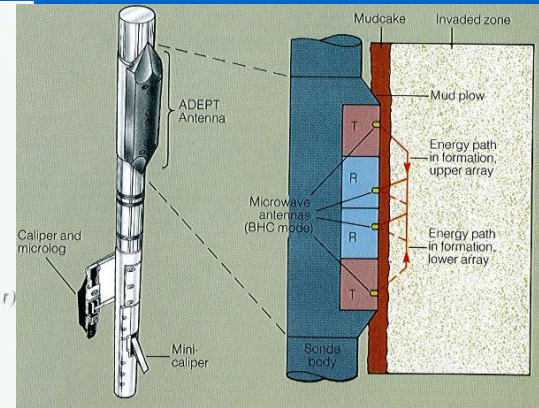
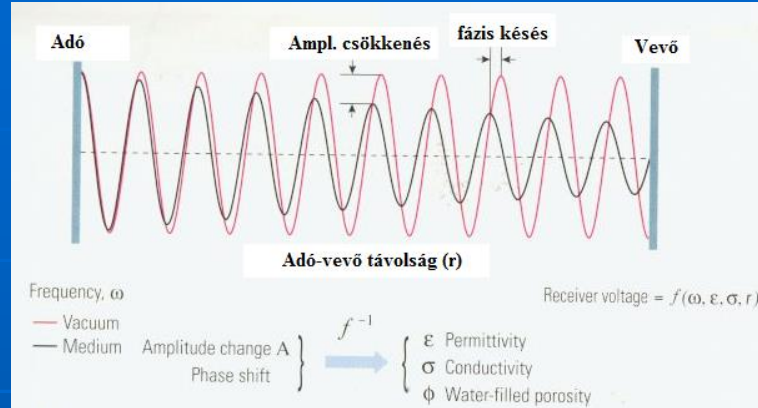


Lemezes felépítésű homok-agyag rétegsor. Vezetőképesség anizotrópia.

www.bakerhughes.com

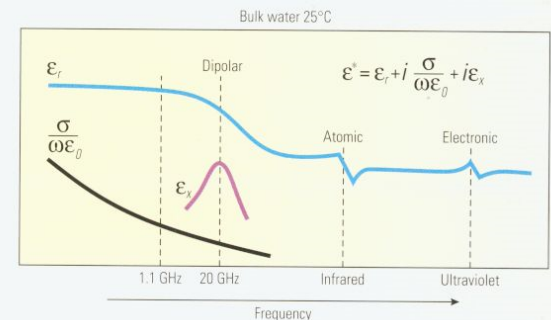
Elektromágneses hullámterjedés mérése

határfelületi polarizáció
(a szemcse falak blokkolják az ion transzportot) 5×10^8 Hz-ig,
molekuláris polarizáció (dipol molekulák orientációja) 20GHz-ig,
elektronos polarizáció
(elektronfelhő deformálódása, atommaghoz képest elmozdulás) 10^{16} Hz-ig



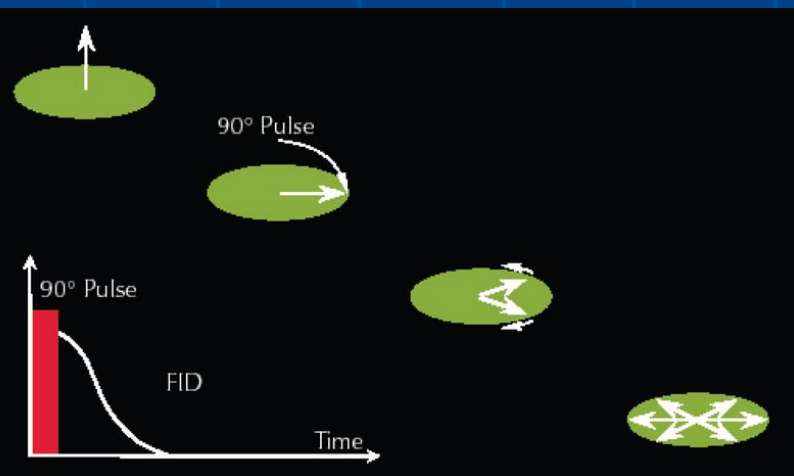
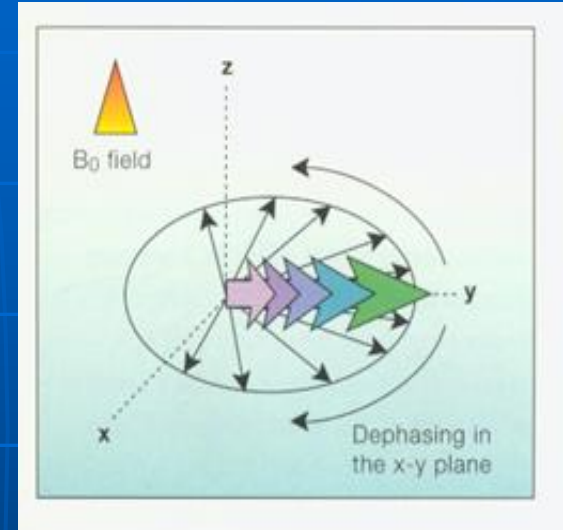
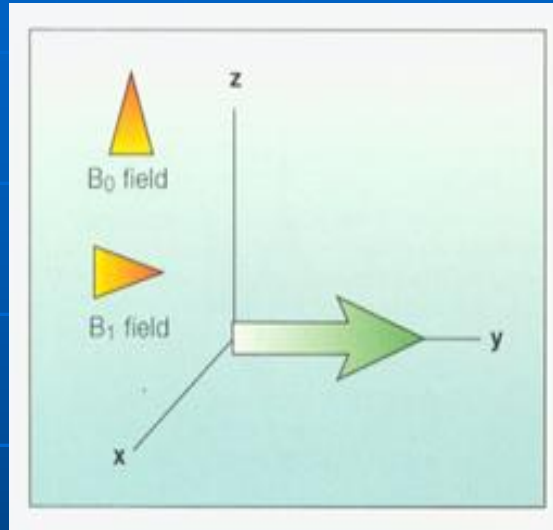
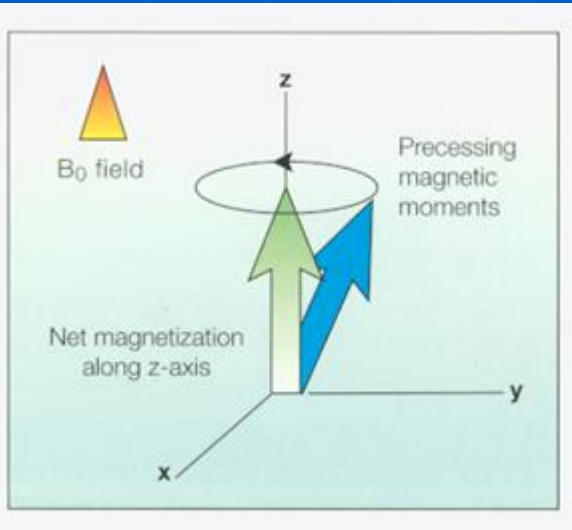
Legfeljebb 1,1GHz frekvencián mérik az EM hullám csillapodását és fáziskésését, melyek az adó frekvenciájának, adó-vevő távolságnak, a dielektromos állandónak, elektromos vezetőképességnek, **a víz fázis által kitöltött pórus térnek** a függvényei. A víz molekuláknak elektromos dipólus jellege van, ui. a pozitív és negatív töltések súlypontja nem esik egybe. Emiatt a víz jól polarizálható, ellentétben a szénhidrogén molekulákkal. Dielektromos szkennerek: 2 adó, 2x4 vevő, 4 frekvencia (10^7 - 10^9 Hz, ebből két frekvencia mind a három polarizációra érzékeny, kettő magasabb a molekuláris és elektronos polarizációra). Változó radiális mélységbehatolás. Változó polaritású emittált EM hullám, **dielektromos áll. anizotrópia vizsgálat.**

Minerals, rocks, fluids	Relative dielectric constant (relative to vacuum)
Anhydrite	6.35
Gypsum	4.16
Petroleum	2.0 to 2.4
Gas	1.0
Sandstone	4.65
Dolomite	6.8
Limestone	7.5 to 9.2
Shale	5 to 25
Dry colloids	5.76
Fresh water	78.3
Water	56 to 80



Nukleáris Mágneses Rezonancia módszere (NMR, MRI)

A sztatikus mágneses térben lévő egyes anyagokban fellépő azon jelenség, amikor az anyagot rádiófrekvenciás térrel besugározva az anyagban az EM tér elnyelődik, a mágneses momentumok átrendeződését eredményezve. Az RF gerjesztés megszűnését követően az elnyelt energiát kibocsátva a mágneses momentumok visszatérnek a gerjesztés előtti helyzetükbe.

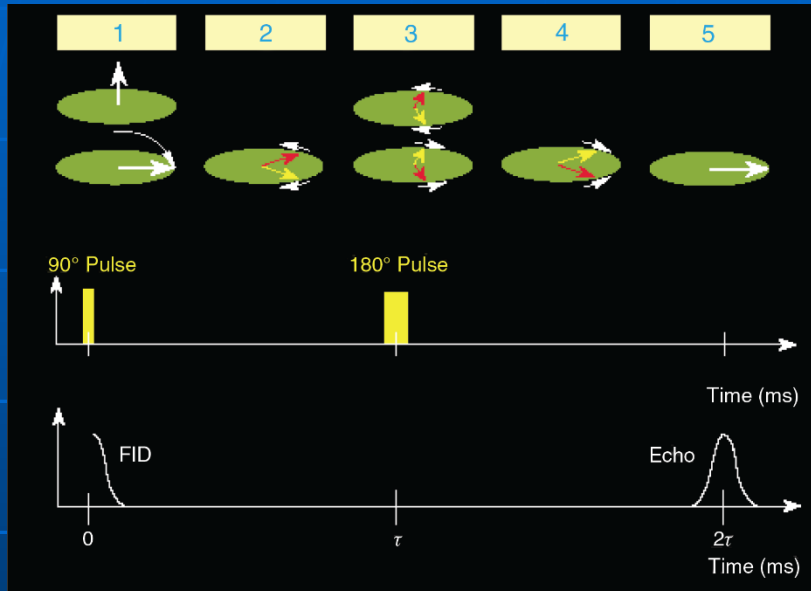


A 90°-os gerjesztés (B_1) leforgatja a mágnesezettséget az xy síkba, a gerjesztés megszűnése után a precesszió **fázisvesztéssel** is jár. A vízszintes tengelyű tekercsen a Larmor frekvenciás **szabad precessziós jelet** lehet mérni, melyet a transzverzális relaxációs (spin-spin) idő T_2 jellemez. A T_2 idő a **transzverzális magnetizáció elvesztéséhez (37%-ra csökkenéséhez) szükséges idő**.

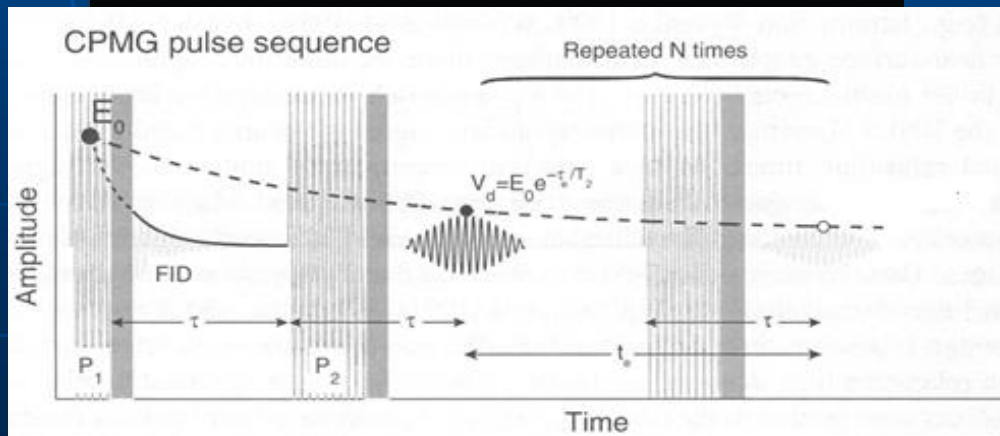
[http://petrowiki.org/Nuclear_magnetic_resonance %28NMR %29 logging](http://petrowiki.org/Nuclear_magnetic_resonance_%28NMR_%29_logging), Kenyon et al. 1995

NMR Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) és spin echo mérés

Mindkettővel transzverzális relaxációs időt lehet meghatározni. Itt a 180° -os RF gerjesztés fázis szinkronizáló hatását (re-fókuszálást) kell kiemelni. A felső ábrán a 180° -os RF gerjesztést a 3. lépés, míg a teljes fázisszinkronizációt az 5. lépés szemlélteti. T_2 itt a visszhang-jelek burkológörbéjéből (alsó ábra, szaggatott vonal) származtatható le, és az itteni T_2 nagyobb mint a szabad precessziós jel (FID) időállandója.

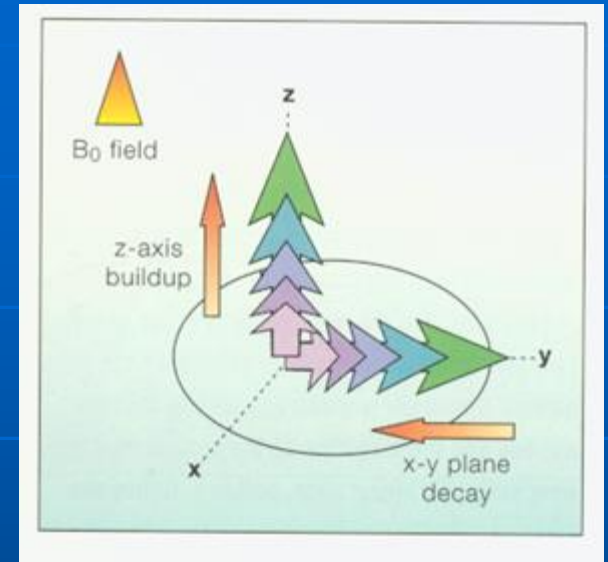
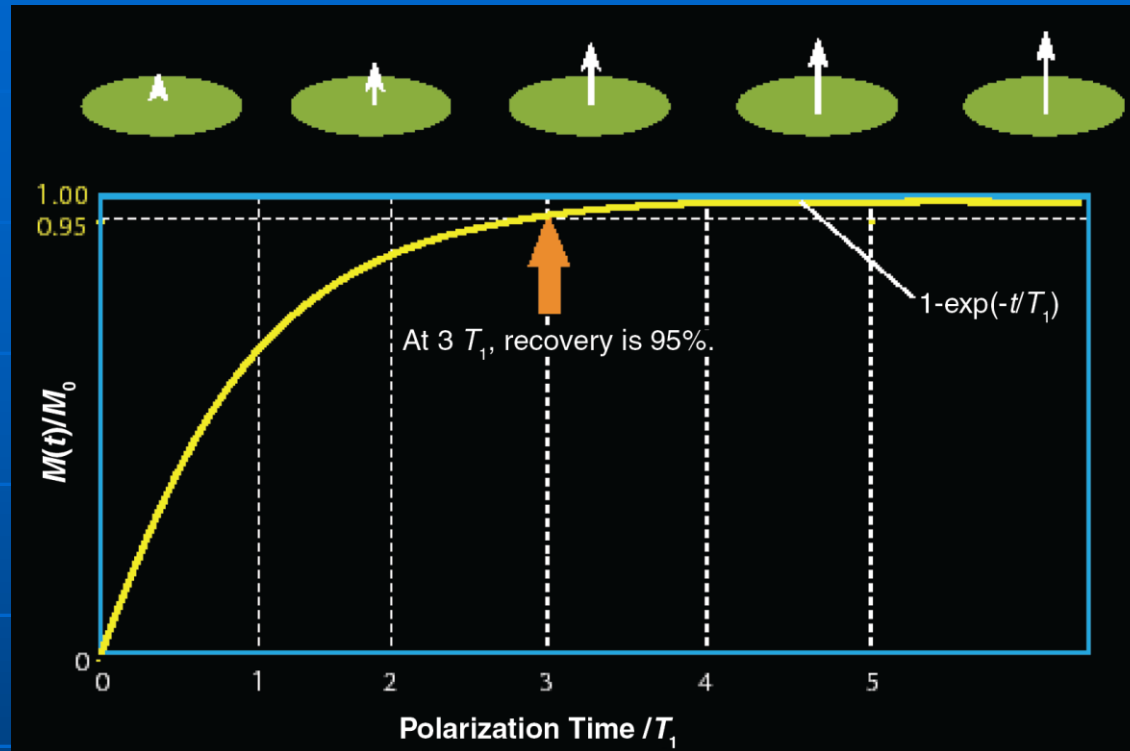


Nagyobb echok közti idővel T_2 , az ismétlési idő csökkentésével pedig T_1 súlyozás érhető el.



A visszhangjelek burkológörbéje valójában nem egyetlen időállandójú exp. lecsengés, hanem nagyon sok (exponenciális jellegű) lecsengési görbe szuperpozíciója. A feladat a különböző időállandójú komponensek amplitúdóinak meghatározása.

NMR longitudinális T_1 spin-rács relaxációs idő



T_1 longitudinális relaxációs görbe azt szemlélteti, hogy a RF-s impulzus sorozat befejeztével milyen gyorsan következik be a longitudinális mágnesszettség visszanyerése (63%-os mágnesszettséghez tartozó időérték).

http://petrowiki.org/Nuclear_magnetic_resonance_%28NMR%29_looking

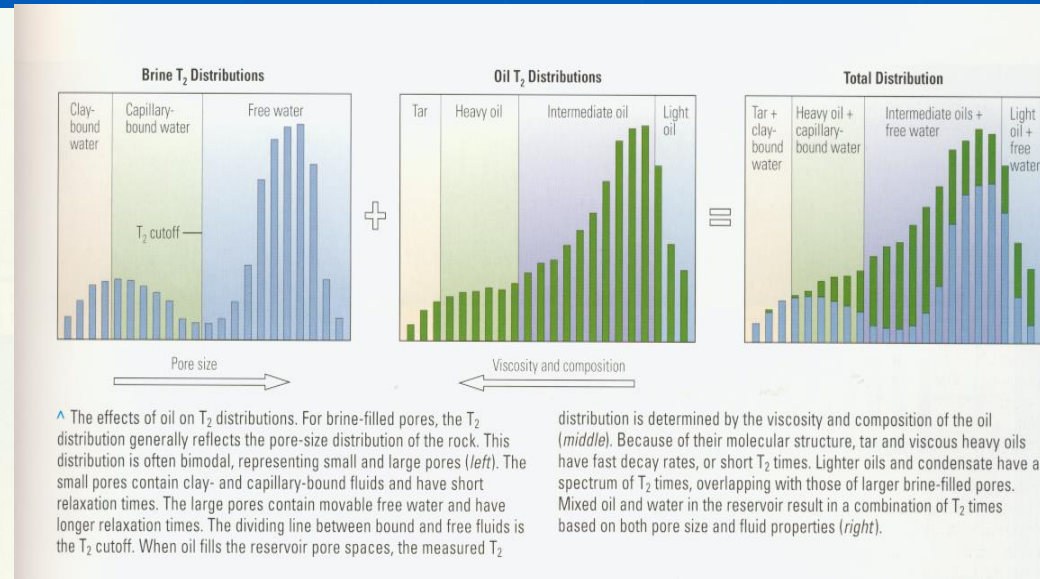
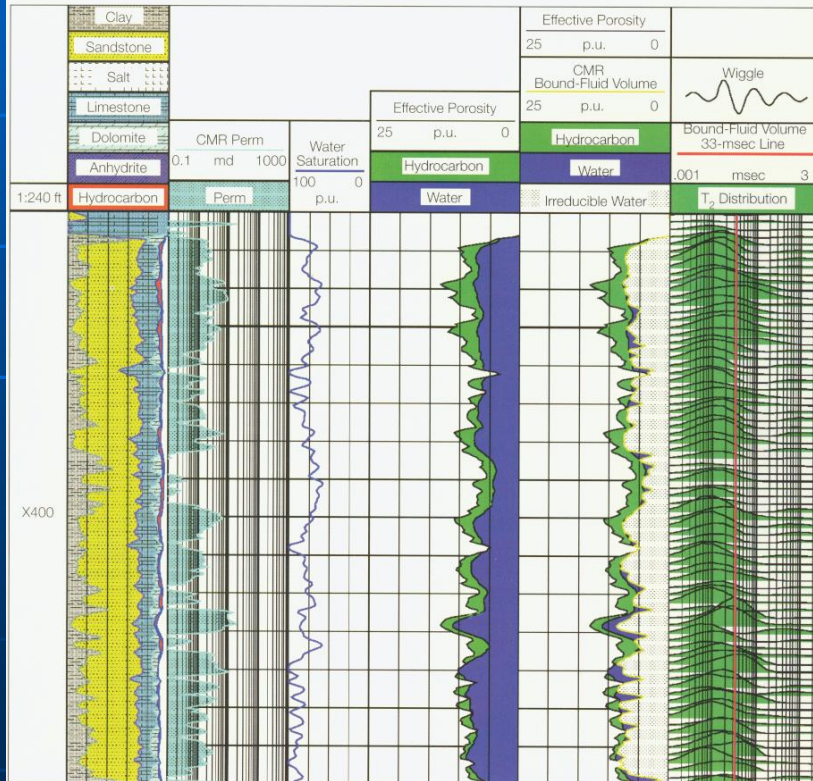
Kenyon et al. 1995

MÓDSZER	SZTATIKUS MÁGNESES TÉR	LARMOR FREKVENCIA
Surface NMR	25-65 mikroTesla	1,06- 2,8kHz
Borehole NMR	6-50 mTesla	0,25-2MHz
(Medical) MRI	0.5-3 Tesla	21,3-64MHz
Lab-NMR	Max. 9,4 Tesla	400MHz

NMR hidrogeológiai és CH kutatási alkalmazásai

- effektív porozitás (szabad prec. jel)
- kötött víztelítettség meghatározása
- permeabilitás becslése
- víz (felületi kötött víz, kapilláris hézagokban lévő víz, pórusrészek szabad vize) jellemzése
- pórus geometriáról információ,
- szénhidrogén típusának azonosítása (viszkozitás, sűrűség, hőmérséklet függés).

ANYAG	T1(msec)	T2(msec)
élő szövet	200-2000	30-100
pórusvíz	1-500	1-500
olaj	3000-4000	300-1000
gáz	4000-5000	30-60





Köszönöm megtisztelő figyelmüket!