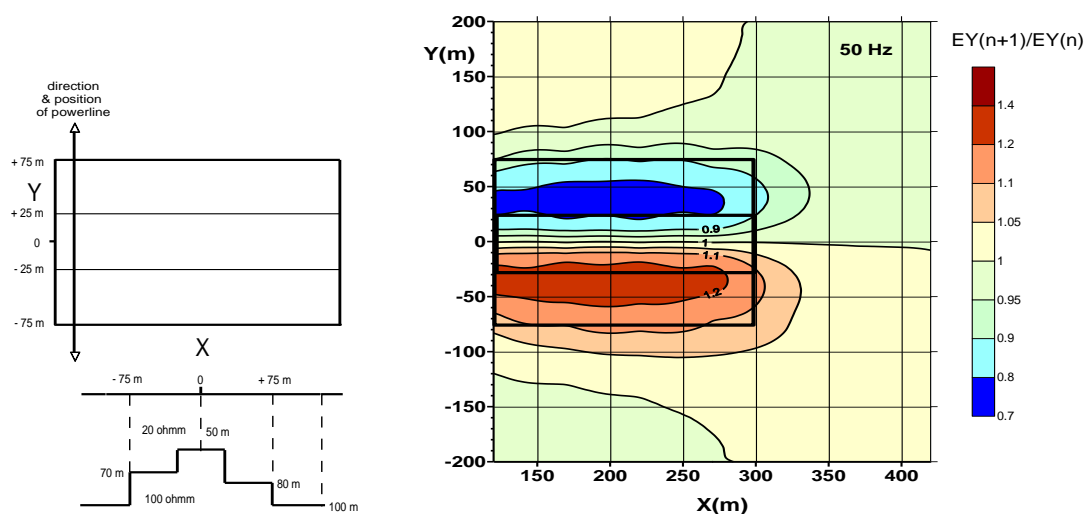


Átmeneti zónában elvégzett vizsgálatok különös tekintettel a távvezetékek EM terének geofizikai alkalmazhatóságára

Résztéma vezető dr. Takács Ernő

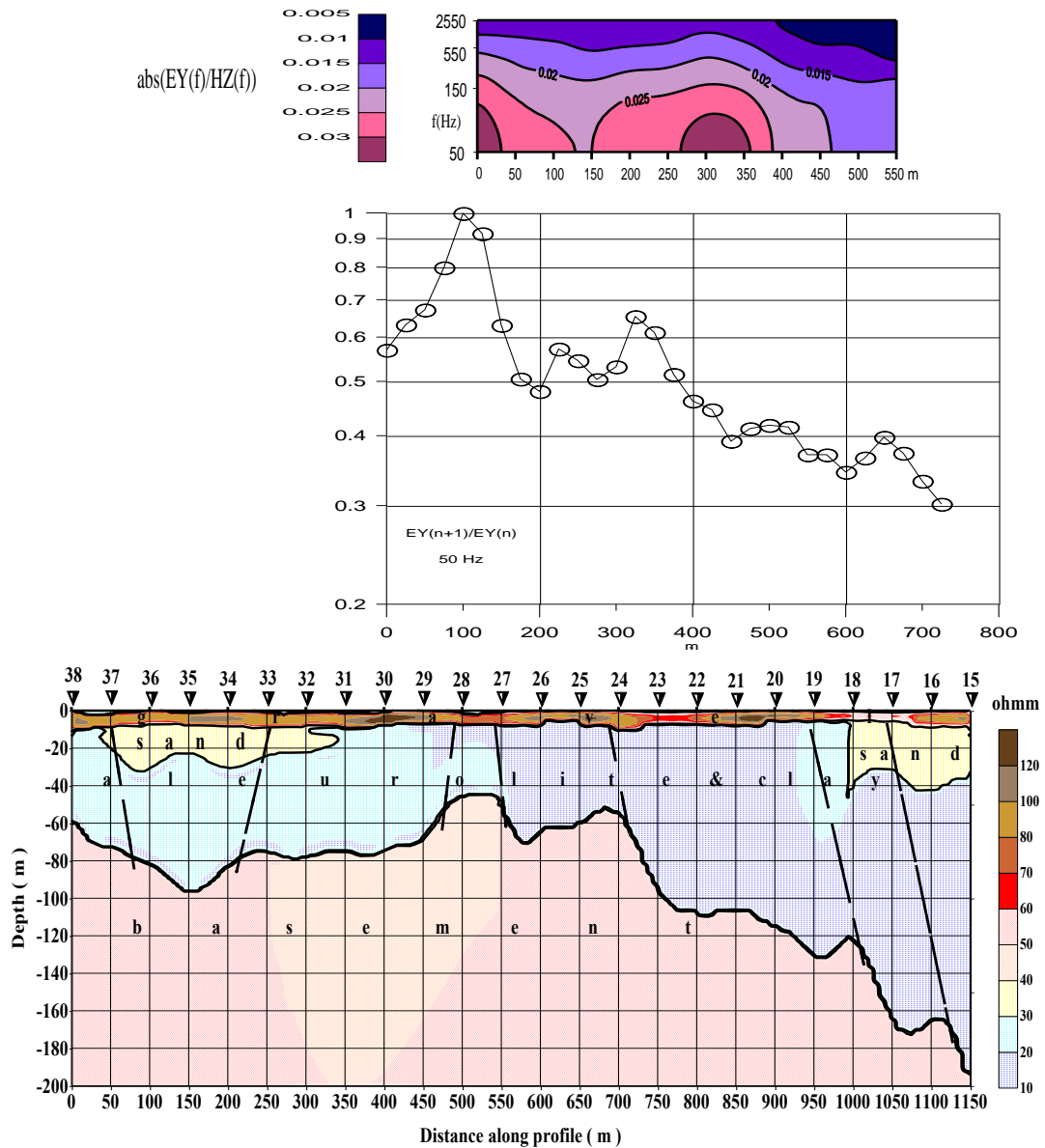
Homogén feltér felett a három fázisvezetékű **távvezeték** szimmetrikus majd asszimmetrikus terhelését feltételezve megállapítottuk, hogy a távvezeték nyomvonalától számítva 4-5, míg az asszimmetrikus esetben 5-6 szkin-mélységnél nagyobb távolságoknál a Cagniard-féle formula alkalmazható a látszólagos fajlagos ellenállás meghatározására. A modellezések azt is bizonyították, hogy az ennél kisebb távolságoknál -azaz az átmeneti zónában- a bemeneti impedanciának a távoli zónához hasonlóan földtani információ tartama van. A földtani információk az egyes térerősség komponensekben a vezetékek elrendeződésétől, a vezetékek közötti árameloszlástól és a vezetéktől mért távolságtól függően jelennek meg. Vízsintes rétegződésű és 3D-s inhomogenitásokat tartalmazó fél-térre numerikus modellezést végeztünk a villamos távvezeték tere és a földtani viszonyok kapcsolatának tisztázására. Erre az optimális mérési és értelmezési metodika megválasztásához volt szükség. Az 1D-s numerikus modellezésekhez a szakirodalomban elérhető analitikus formalizmust, továbbá a Boteler és Pirjola (1998) által javasolt komplex-tükörpontos eljárást használtuk fel. A 3D-s szimulációkra a Zhdanov et al. (2002) tanulmánya alapján készült integrálegyenletes programot alkalmaztuk.

Az 1. ábra baloldali részén látható 3D-s inhomogenitás megközelíti az egyik kísérleti mérési területünkön (sajókazai) lévő aljzat relief változásait, a szerkezeti csapás és távvezeték nyomvonalának geometriai helyzetét és a fedő valamint az alaphegység átlagos fajlagos ellenállását. A szimuláció során a mérési szelvények 50m-ként, a távvezetékekkel párhuzamosan helyezkednek el. Az átmeneti zónában elvégzett modellezés alapján megállapítható (1. ábra jobb oldali része), hogy a laterális változások lehatárolásában alkalmazható a vezetékek áramerősségétől függetlenített és csak az elektromos térerősséget használó, a szomszédos elektróda-terítések feszültségarányát meghatározó méréstechnika. A zárójelentésben az alapharmonikusra vonatkozó modellezési eredményt emeltük ki, ui. a gyakorlatban az alapharmonikus mérhető legjobban. Jelen esetben ezen a frekvencián a behatolási mélység jóval meghaladta az aljzat mélységét.



1. ábra. A numerikus szimuláció 3D-s modellje és a távvezetékekkel párhuzamos szelvényeken a szomszédos elektróda-terítéseken mért feszültségek hányadosának izovonalas térképe

A Magyar Geofizikában (Takács E., Pethő G. 2006) megjelent tanulmányunkban terepi példakkal is bizonyítjuk ezen 50 Hz-s eljárás földtani alkalmazhatóságát. Saját eszközeinkből többféle mérőrendszert állítottunk össze. Ezekkel kísérleti terepi méréseket végeztünk két területen. A távvezetékkel párhuzamos elektromos térkomponens alapharmonikusának vizsgálatával az egyik esetben egy vető nyomvonalának térképezését (Múcsony környéke), a másik területen (Sajókaza mellett) 50-150m üledékekkel fedett mészkő gerinc laterális lehatárolását végeztük el biztató eredménnyel.



2. ábra. Sajókaza-Vadna-Sajóalgóc területén egymással közel párhuzamos szelvények mentén az E_y/H_z impedancia-frekvencia metszet (felül), az 50Hz-es elektromos térkomponens-arány szelvény (középen) és az invertált VESZ szelvény Gyulai (2000) alapján (alul)

A kutatás részeként a villamos-távvezetékek terében megjelenő felharmonikusoknak a frekvencia-szondázásra való felhasználhatóságát is vizsgáltuk. Ennek érdekében

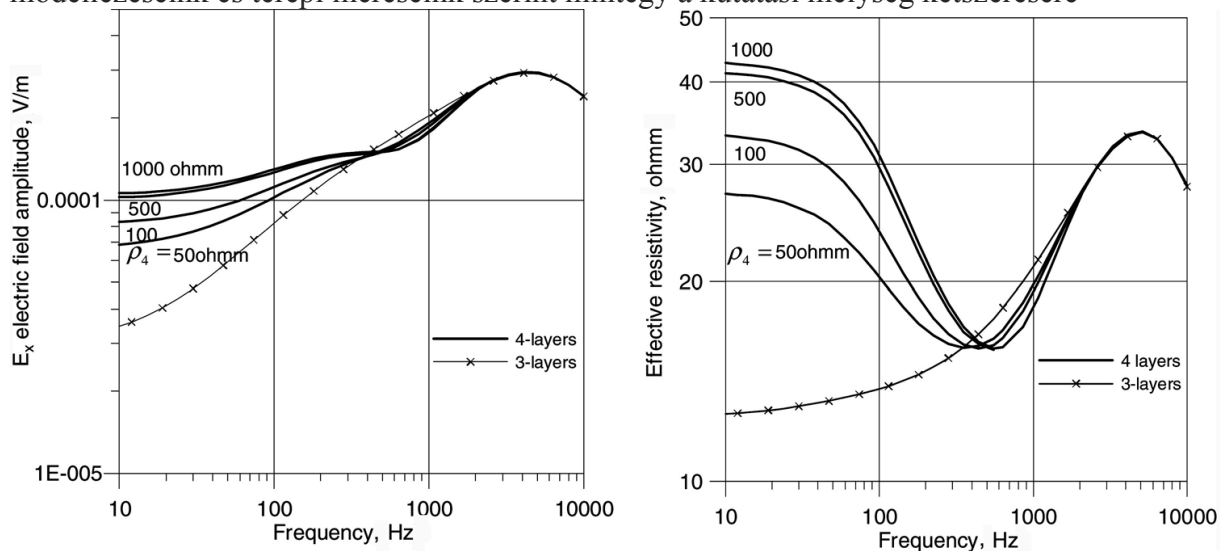
- numerikus modellezéseket végeztünk az optimális mérési metodika megválasztására;
- terepi mérésekkel vizsgáltuk a felharmonikusok frekvencia-tartományát és térerősségét;
- többféle mérőrendszert állítottunk össze és ellenőriztük terepi alkalmazhatóságukat;
- a villamos távvezeték felharmonikusait is felhasználó frekvenciaszondázást egy újabb területen is teszteltük főként az ismételhetőség vizsgálatára és az optimális mérési metodika kiválasztására.

Néhány felharmonikus (150Hz, 550Hz, 750Hz) felhasználásával az 1. ábrán bemutatott 3D-s modellre elvégzett szimuláció a laterális felbontás mellett vertikális felbontást is eredményezett (Takács E., Pethő G. 2006). A kísérleti méréseknél a legnagyobb amplitúdót a felharmonikusok közül 250Hz-en tapasztaltunk, nagysága esetenként meghaladta az 50 Hz-es jel egytizedét. Az 50 Hz-es, egymást átfedő, általában a távvezetékkel párhuzamos elektromos térkomponens mérését egy Telmes gyártmányú tranzisztoros mV mérővel végeztük. Az impedancia használhatóságának és a felharmonikusok mérhetőségének vizsgálatakor az indikáló egység változatlanul a tranzisztoros mV- mérő volt, melynek bemenetére egy Krohn-Hite sávszűrőt csatlakoztattunk. Az alkalmazott sávszélesség 20 Hz volt. A mágneses térerősséget egy korábbi Slingram műszer 0,75m átmérőjű tekercsével mértük. Praktikus okok miatt az impedancia mérésekor nem a vízszintes, hanem a függőleges mágneses térerősség komponensét használtuk normálásra. Az így született mérési eredmények invertált VESZ szelvényvel való összevetését mutatja a 2. ábra. A távvezetékkel párhuzamosan, attól 100m-re tűztük ki az 50 Hz-es feszültségarány szelvényt és 150m-re a multifrekvenciás impedancia szelvényt. Az utóbbtól mintegy 600m-re húzódott a VESZ szelvény. Az EM és a VESZ szelvényeken látható, hogy a felboltozódás (amit a fúrési adatok is alátámasztanak) a szelvények között jól korrelálható. Ezen eredményeket a 13-ik EEGS konferencián is ismertettük (Pethő G., Takács E. 2007).

Az elektromágneses frekvenciaszondázásoknál jelentős szerepe van az adó-vevő távolságnak. A távolság csökkenésével a mérési adatok földtani információ-tartalma szűkül, ugyanakkor méréstechnikai előnyök jelentkeznek. A különböző gerjesztések közül a leggyakrabban használatos, **felszíni földelt elektromos bipólus forrás** esetét vizsgáltuk, különös tekintettel az átmeneti zónára, ahol a mért EM komponenseknek frekvenciális és fajlagos ellenállás információ-tartalma van. Ezen mérési elrendezés és a távvezeték EM terének vizsgálata ki is egészíthetik egymást. A földelt elektromos bipólus forrás EM terének kutatása nemcsak elméleti szempontból, ezen gerjesztő tér átmeneti zónájának megismerése miatt fontos, hanem ezen EM mérések a forrás közelében a távoli zónához képest lényegesen jobb jel/zaj viszonytal jellemezhetők, így a terepi mérések megbízhatósága is nagyobb ugyanazon adót feltételezve a távoli zónabeli mesterséges áramterű mérésekhez képest. Az elektromos bipólus hossza is változtatható. Ezen előnyök kihasználása érdekében az elektromágneses tér különböző komponenseire numerikus modellezéssel megvizsgáltuk, hogy a földtani információk és értelmezésük szempontjából mi a határa a földelt elektromos bipólus adó megközelíthetőségének és az egy tápkábel telepítésével lemérhető szelvény-szakasz hosszának.

A mesterséges áramterű frekvencia-szondázások esetében egy újszerű látszólagos fajlagos ellenállást -effektív fajlagos ellenállást- definiáltunk a homogén féltér feletti hosszú földelt kábel EM térjellemezőinek frekvenciakaraktisztikái alapján. Alkalmazásával lényegesen bővíthető az adó bipólus környezetében felmérhető terület nagysága. Az eddigi megkövetelt

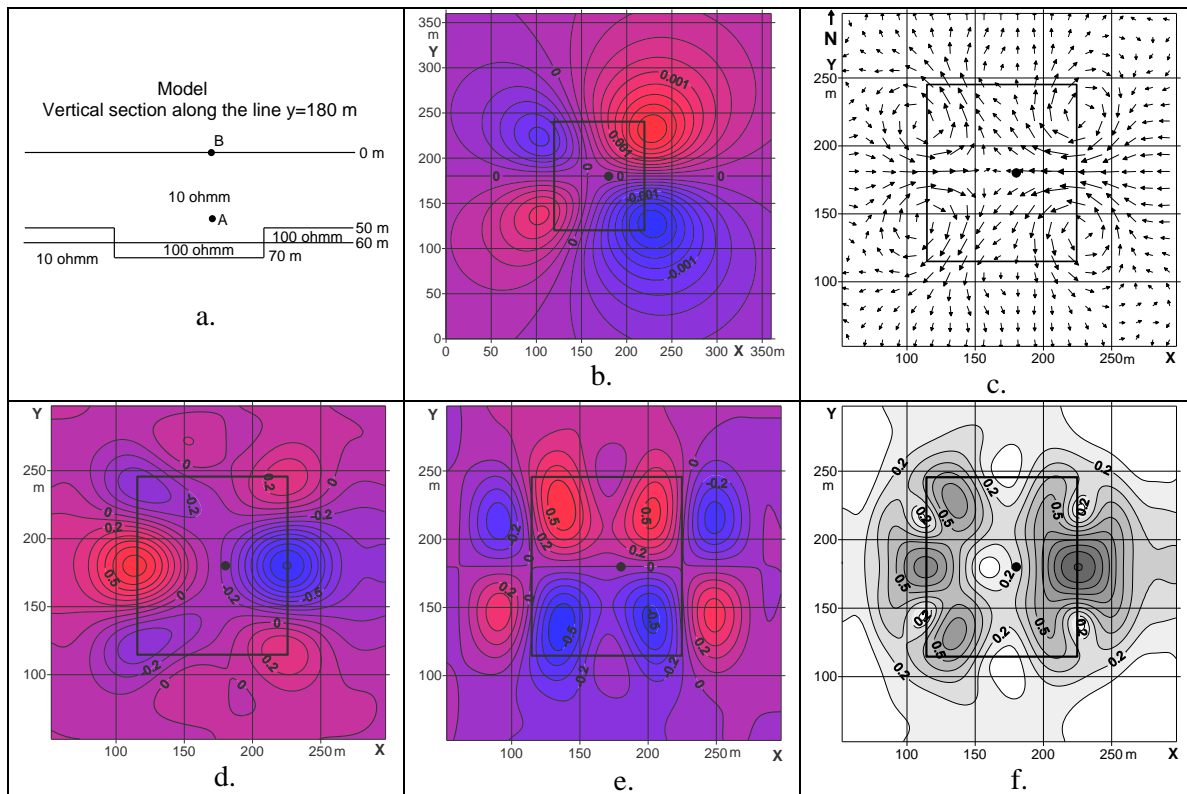
minimális adó-vevőtávolság 3-7-szerese a kutatási mélységnek. Ez a távolság a modellezéseink és terepi méréseink szerint mintegy a kutatási mélység kétszeresére



3. ábra. E_x amplitúdó frekvenciaszondázási görbe 4 réteges és 3 réteges esetre (bal oldalon) és a belőlük meghatározott effektív fajlagos ellenállás frekvenciaszondázási görbe (jobb oldalon)

csökkenthető (Takács E., Pethő G. 2008a). A 3. ábra szondázási görbéi 500m bipólus hosszal, 200m-es adó-vevő távolsággal broadside elrendezésre, a 4 réteges esetben 10, 100, 10, 50–1000 ohmm fajlagos ellenállás értékek és 5, 30, 65 m rétegvastagság értékek feltételezésével lettek meghatározva, míg a 3 réteges görbénél az aljzat el lett hagyva. Az ily módon definiált látszólagos fajlagos ellenállás frekvenciaszondázási görbéje ismeretében olyan frekvenciamelység transzformáció végezhető, mely a fajlagos ellenállás mélység szerinti eloszlására és a rétegek számára is jó közelítést adott. Az így kapott geoelektromos paraméterek egy szigorú inverzió bemenő adatai lehetnek, másrészt a laterális fajlagos ellenállás változások lehatárolásában önmagában is alkalmazhatók. Bebizonyítottuk, hogy az átmeneti zóna CSAMT frekvenciaszondázási görbék egy kijelölhető szakasza korrekcióval MT görbévé transzformálható és MT inverziós programmal értelmezhető.

A távvezetékek és a hosszú földelt kábel EM terének vizsgálati eredményeinek ismertetését követően megemlítjük azon kutatásainkat, melyek a **felszín alatt lévő vertikális elektromos dipólus forrás** EM terét használják fel földtani információ szerzésre. A függőleges fúrólukban elhelyezkedő vertikális elektromos dipólus forrás esetére vonatkozó publikációink egy része a felszínen mérhető kvázistacionárius szekunder vertikális térkomponens inverziójának tapasztalataival foglalkozik (Takács E., Pethő G. 2008b, Takács E., Pethő G. 2009). A direkt feladat megoldását a GEOM-DRIVE-MAP programrendszer (M. Zhdanov, G. Keller, 1994) módosításával végeztük el, az inverz feladat megoldására konjugált gradiens módszert alkalmaztunk. Az inverzió során az inhomogenitástól függő horizontális elektromos dipólusok eloszlását kell megadni. A 4. ábrán -a bal felső részében látható levetett blokk 100mx120mx10m geometriájú, fajlagos ellenállása 100ohmm- az előre modellezés és az inverzió eredménye látható. A modellezések igazolták, hogy a VED közelében lévő laterális vezetőképesség változások helyei rekonstruálhatók a felszínen kialakuló szekunder vertikális mágneses térerősség komponens inverziójával. A határfelületek folyamatos kijelölése azonban nem érhető el és legmegbízhatóbban a fúráshoz közeli szakaszai adhatók meg.



4. ábra. Az előre modellezés és a szintetikus adatokon elvégzett inverzió eredménye az (a) ábrán látható modellre. A 3D-s inhomogenitás felett a felszíni vertikális mágneses térkomponens amplitúdó eloszlása (b), a felszín alatti elektromos dipólus momentumok vektoriális eloszlása (c), x-(d), y-(e) irányú és eredő (f) horizontális dipólus momentumok eloszlása

Takács E. (2009) egy szélesebb frekvencia tartományban átvilágítással a rétegen belüli inhomogenitás kimutathatóságának új eljárását ismerteti. A módszer a VED forrás vertikális elektromos térkomponensének rétegen belüli viselkedésén alapszik (Takács E. 2009). Az adó dipólus frekvenciájának növelésével az áram egyre jobban az adó és vevő dipólust is magába foglaló, jelen esetben a környezetéhez képest nagyobb fajlagos ellenállású rétegben koncentrálódik. A közrefogott rétegbeli inhomogenitás elektromos szempontból rövidzárként jelentkezik, a valós és képzetes áramrendszerek jelentős torzulását eredményezve az 1D-s esethez képest. A mért elektromos térkomponens földtani információ-tartalmát a látszólagos fajlagos ellenállás spektrum bevezetésével lehet növelni, mely a frekvencia növelésével a nagy frekvencián megközelíti a közrefogott réteg effektív fajlagos ellenállását. Ezen közbülső, átvilágított réteg effektív fajlagos ellenállása inverzió segítségével is meghatározható az elektromos térkomponens frekvenciaszondázási görbéjének néhány, a maximum környezetében mért jellemző értékéből. Szételepen belüli 3D-s inhomogenitás kimutathatóságára bányabeli esettanulmányt és integrálegenletes módszert alkalmazó numerikus modellezést mutat be Takács E. (2009).

A kutatási résztémához kapcsolódó publikációk jegyzéke

TAKÁCS, E., PETHŐ, G. (2006): Újabb vizsgálatok a villamos távvezetékek terének geofizikai alkalmazhatóságára. Magyar Geofizika 47.1. pp. 20-26, Budapest

PETHŐ, G., TAKÁCS, E. (2007): Geophysical Application of Power Lines EM fields. 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Extended Abstract, P25, Istanbul

TAKÁCS, E., PETHŐ, G. (2008a): Information-content of the electric bipole source frequency sounding curves in the transition zone. Acta Geod. Geoph. Hung., Vol. 43(4), pp. 369-381, Budapest

TAKÁCS, E., PETHŐ, G. (2008b): A szekunder vertikális mágneses összetevő inverziójának tapasztalatai, Inverziós Anketon elhangzott előadás (.ppt verzió)

TAKÁCS, E., PETHŐ, G. (2009): Exploration of lateral sequence-discontinuities using the vertical magnetic field generated by vertical electric dipole placed in borehole. Acta Geod. Geoph. Hung., Vol. 44(2), pp. 167-178, Budapest (T046765 sz. OTKA)

TAKÁCS, E. (2009): Layer-discontinuity indications in the induction response of EM transillumination measurement . 11th Scientific Assembly of International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Sopron, iaga_abstract\DIV1\104-THU-P1610-0540.pdf

2.5D-s frekvenciatartománybeli elektromágneses numerikus modellezés fejlesztése és modellezési eredmények összegzése

Résztéma vezető: dr. Pethő Gábor

A 2.5D-s FEM FD programrendszer fejlesztése során algoritmus és programfejlesztést végeztünk

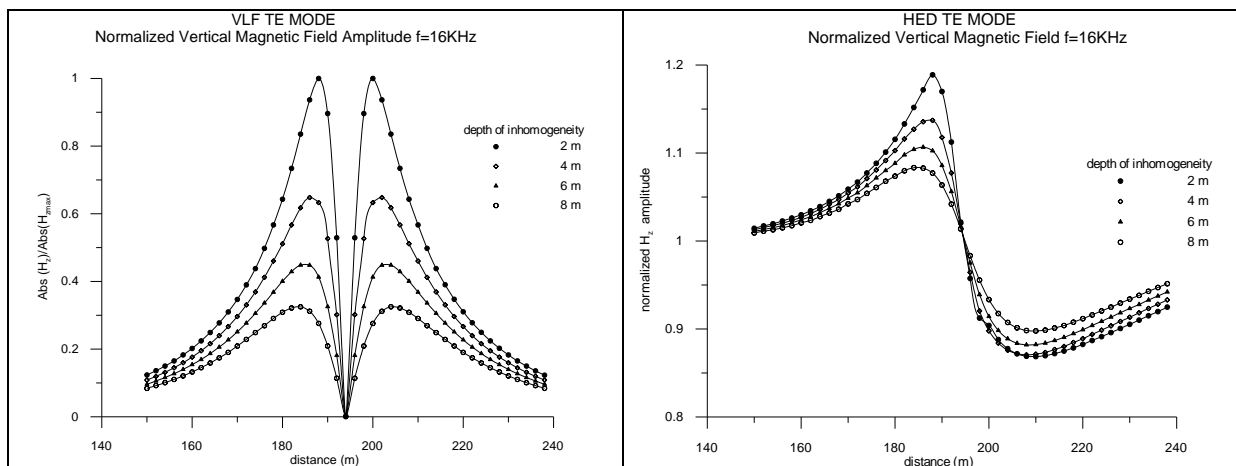
- a modellezések pontosságnövelése érdekében (valamennyi mérési pontban a Fourier-transzformált térkomponensek csapásirányú térbeli hullámszám függését megadtuk),
- elektromos dipólus gerjesztést alkalmazó fúróluk-felszín, fúróluk-fúróluk, felszín-fúróluk frekvenciális mérések szimulációjára,
- felszíni mágneses dipólus forrás esetére az eltolási áramok figyelembevételével,
- arra vonatkozóan, hogy meddig növelhető az elemi gerjesztő dipólus hossza a dipól ekvatoriális felállásban mérhető (számítható) impedancia mérési hibahatáron belüli megváltozása nélkül.

Ezen fejlesztéseket VISUAL-FORTRAN környezetben végeztük el.

Annak érdekében, hogy a 2D-s inhomogenitások felett frekvenciaszondázási görbéket adhassunk meg modellezéseinket a távoli zóna átmeneti zónával határos részén, a teljes átmeneti zónában és a kis frekvenciák irányában vele határos már frekvenciától független közeli zónában végeztük el különböző modellekre, ami a hullámszám (k) adó-vevő távolság (R) szorzat három nagyságrendnyi változását eredményezte. Azt tapasztaltuk, hogy még ilyen esetben is három rácsgeometria használata elégséges. A rácsgeometria tervezésében az MT 2D-s modellezésnél szerzett tapasztalatok a mérvadók, azzal a megjegyzéssel, hogy az adó dipólus környezetében finomítani kell a rácsgeometriát, másrészt a levegőben lényegesen finomabb rácsközöket kell alkalmazni mint a síkhullámú 2D-s E-polarizáció esetében. A rácscok közötti átmenetet olyan frekvenciára érdemes tervezni, ami nem esik a gerjesztés típusától és modelltől függően a térkomponensek szondázási görbéjén jelentkező transition notch (átmeneti zónában jelentkező alul lövés) legmeredekebb részére. A csapásirányú térbeli hullámszám (k_x) tartomány és annak mintavételezésének tervezésekor figyelembe vettük, hogy a csapásirányú Fourier-transzformált EM komponensek viselkedése elsősorban az adó-vevő távolságtól, a vizsgált modelltől, a dipólus forrás frekvenciájától, annak típusától, a szerkezeti irányokhoz képesti irányítottságától, az alkalmazott rács geometriától függ. Az általunk vizsgált modellek esetében $25-29k_x$ érték elégségesnek bizonyult és a logaritmikusan egyenközü mintavételezést (összehasonlító vizsgálatokat követően) preferáltuk a lineárisan egyenközüvel szemben. Ugyanazon modell esetén a nagyobb frekvenciákon elegendő kevesebb k_x értékre megoldani a lineáris egyenletrendszer.

Legtöbb, hosszan elnyúlt konduktivitás-szerkezet feletti modellezést felszíni elektromos dipólus gerjesztést feltételezve végeztünk. Ezek közül kiemeljük a távoli zóna átmeneti zónával közvetlenül határos részén végzett modellezéseinket, melyeket összevetettük a síkhullámú gerjesztés E- és H-polarizációs eredményével egy VLF frekvencián. A modellezések alapján állítható, hogy hosszan elnyúlt szerkezetek esetén a VLF mérés helyettesíthető elvben pontszerű dipólus gerjesztést alkalmazó CSAMT méréssel, ha

ugyanazon forráspolarizációt választunk a két esetben, ha a mért paraméterek a látszólagos fajlagos ellenállás és annak fázisa és ha az adó vevő távolság 6-7 szkin mélységnél nagyobb (Pethő G. 2005, Pethő et al. 2006, Németh N., Pethő G. 2009).



5. ábra. Jó vezető felett kialakuló H_z komponens viselkedése VLF és elektromos dipólus forrás esetén

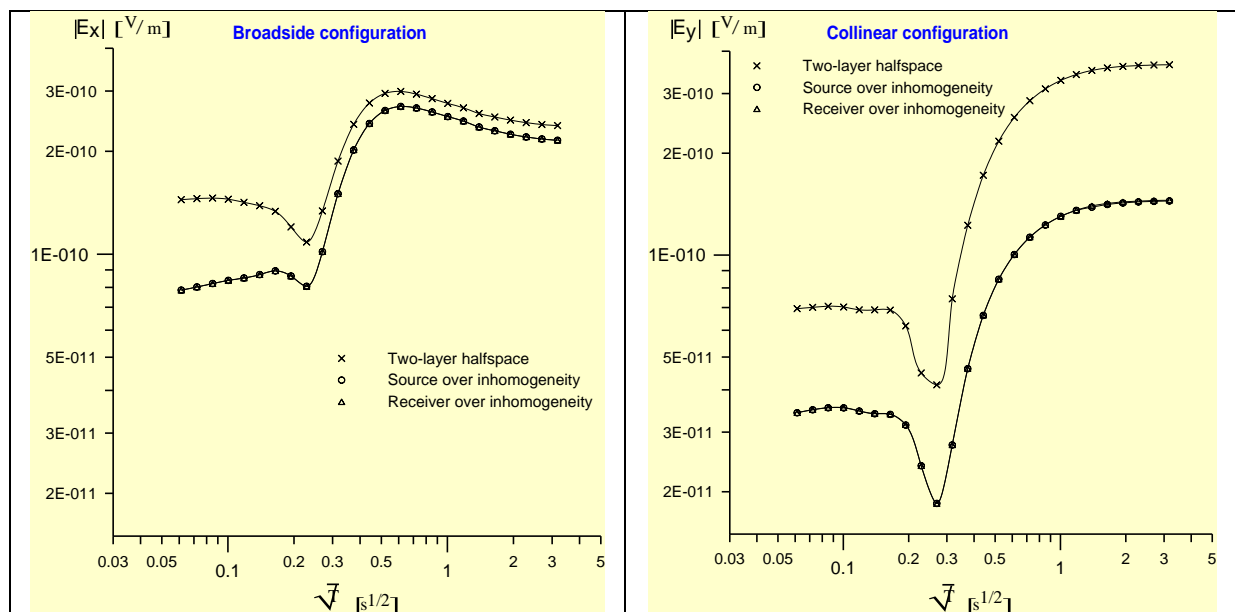
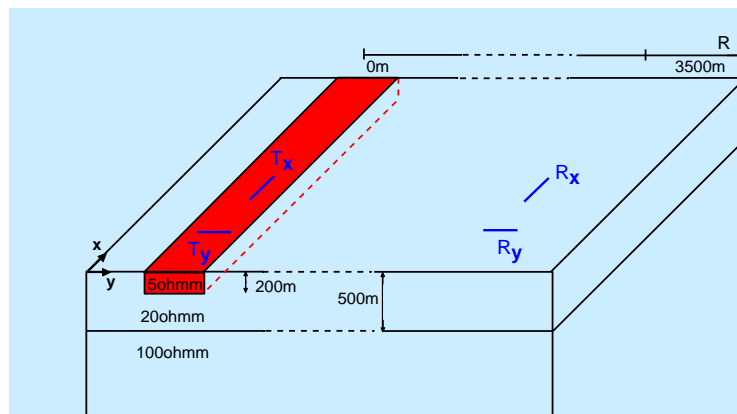
Ugyanez nem mondható el a TE módusban mérhető H_z komponensről. Az 5. ábrán bemutatott eredményeknél az inhomogenitás egy elnyúlt 8x8m keresztmetszetű 15ohmm-s hasáb, mely egy 30 ohmm fajlagos ellenállású homogén fél-térben a felszíntől számított különböző mélységben helyezkedik el, az inhomogenitás közepe 194m-re van a csapásirányú elektromos dipólus forrástól. A síkhullámú gerjesztés (5. ábra bal oldalán) inkább ajánlható mint a CSAMT (5. ábra jobb oldali rész, a normalás itt a homogén fél-tér felett mérhető vertikális mágneses térkomponensre történt). Ilyen egyszerű inhomogenitás esetén a kimutathatóság és a laterális lehatárolás az áramcsatornázás (TE módusz) és a galvanikus hatás (TM módusz) alapján lehetséges.

Előző példában egyetlen frekvencián vizsgáltunk. A multifrekvenciás mérések modellezésére több ellenőrzést végeztünk mely elsősorban az 1D-s modellezési eredményekkel való összehasonlítást jelentette. Emellett egy széles frekvenciatartományban mind a két polarizációra elvégeztük a felcserélhetőségi vizsgálatot. A 6. ábra felső részén az inhomogenitás nélküli 2 réteges (1D-s) modellre $268.3Hz \geq f \geq 0.1Hz$ frekvencia tartományban 50x249, 45x180, 42x128 méretű rácsokat maximum 27db k_x értéket alkalmazva a térkomponensek amplitúdó eltérése az 1D-s és 2.5D-s kóddal számítva kisebb volt mint 2,5%, míg a térkomponensek fázis eltérése $1,5^0$ -on belüli volt. A felcserélhetőségi vizsgálatot a 6. ábrán látható modellre végeztük el, ugyanazon rácsgeometriát alkalmazva mint az 1D-s vizsgálatnál. A felcserélhetőségi vizsgálat mind a két módusra 0.7%-on belüli amplitúdó egyezést adott, míg az elektromos térkomponens fázisa 0.2^0 -on belüli egyezést mutatott a teljes frekvenciatartományban (Pethő G. 2009a).

A 2.5D-s FEM program numerikus inverz Fourier-transzformáció révén határozza meg az adó dipólust magába foglaló vertikális síkban a térkomponenseket(Pethő G. 2007). Ez lehetőséget ad arra, hogy minden egyes térkomponens amplitúdójára és fázisára az adó-vevő távolság és a periódusidő függvényében izovonalas térképet, ill. adott állomásra frekvenciaszondázási görbéket adjunk meg. A fizikai paraméterek közül laterális lehatárolásra a két polarizációban a normált impedancia amplitúdó és normált impedancia fázis metszetek alkalmazását javasoltuk. A normalás itt az inhomogenitás nélküli (1D-s) modellre számított impedancia értékekre történt. Modellezéseink során a vevő környezetében

elhelyezkedő felszíni és felszín alatti inhomogenitás és ezek kombinációjaként jelentkező inhomogenitások, továbbá az adótól és a vevőtől kb. ugyanolyan távolságban lévő inhomogenitás kimutathatóságával foglalkoztunk (Pethő G. 2009c).

A rendelkezésünkre álló MELIS frekvenciaszondázó rendszerrel is lehetőség van különböző mesterséges gerjesztések esetére az impedancia amplitúdó és impedancia fázis meghatározására. A jó közelítéssel 1D-s szerkezet feletti terepi mérések (Kistokaj) kiértékelésére 1D-s inverziós programot fejlesztettünk ki. Az inverziós program a Melis által meghatározott mérési hibákat veszi figyelembe. Lehetőség van a két mérési elrendezés (dipól axiális és dipól ekvatoriális) impedancia amplitúdó és impedancia fázis eredményeinek külön-külön, és együttes inverziójára is tetszőleges kombinációban. Ezen mérések együttes inverziós kiértékelése is rávilágított a forrás környezetében lévő inhomogenitások EM térformáló hatására.

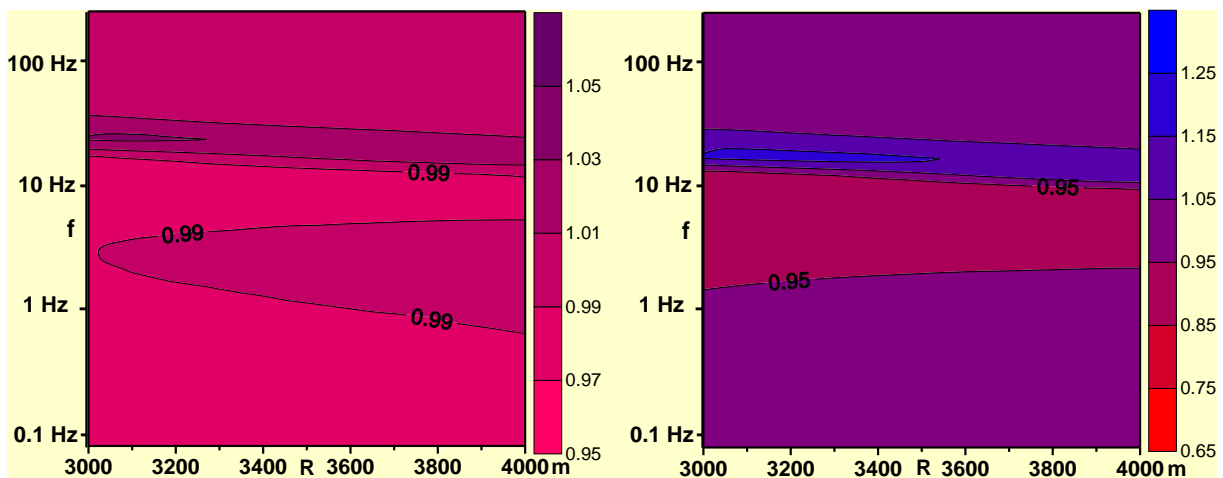


6. ábra. A felcserélhetőségi vizsgálatra használt modell (fent), TE módusban E_x amplitúdó (bal oldal), TM módusban E_y amplitúdó frekvenciaszondázási szondázási görbék.

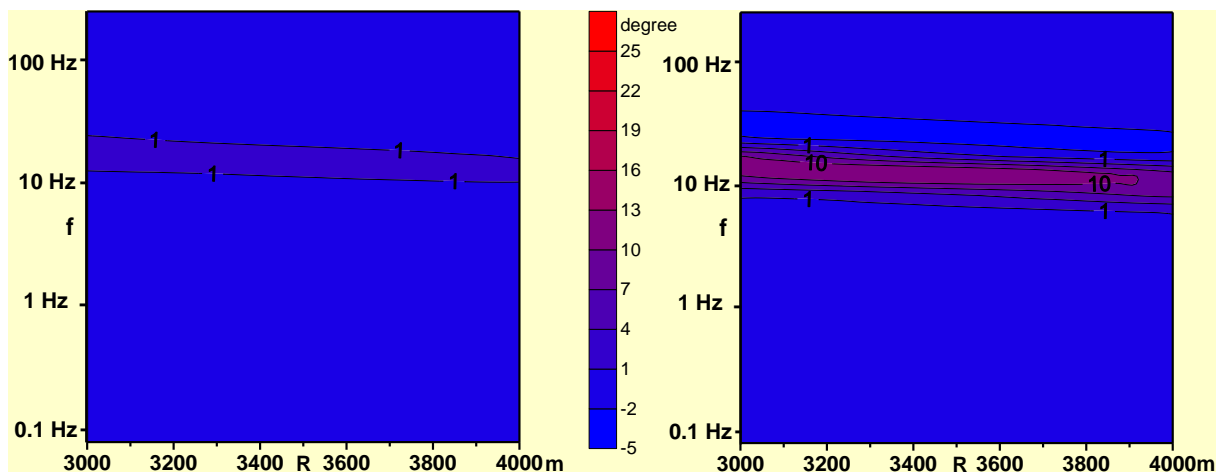
A következőkben a forráshatások vizsgálati eredményeit mutatjuk be. Ezek közül a forrás polarizációs hatás (source polarization effect) abban nyilvánul meg, hogy a TE és TM módusban a galvanikus és az áramcsatornázási hatások eltérő mértéke miatt az EM térkomponensek frekvenciaszondázási görbéi a két mérési elrendezésre eltérnek.

(megjegyezzük, hogy ezen hatások szuperponálódnak a már 1D-s környezetben is a dipól ekvatoriális és dipól axiális elrendezésben eltérést mutató EM szondázási görbékre).

A forrásáthatás (source overprint) jelensége akkor jelentkezik markánsan, ha közvetlenül a gerjesztő dipólus alatt helyezkedik el a vezetőképesség inhomogenitás. Ennek hatását a forrástól nagyobb távolságok mellett is érzékelni lehet, bár hatása az adó-vevő távolsággal csökken. Másik jellemzője, hogy az offset növelésével ez a hatás egyre kisebb frekvencián jelenik meg. Épp ezért gyakran nem is különböztetik meg az árnyék hatástól (shadow effect), mely a forrás és vevő által átvilágított tértartományban lévő jó vezető jelenléte miatt alakul ki, ugyanis az inhomogenitásban az EM tér csillapodása nagyobb mértékű mint az inhomogenitáson kívül. A 7.-8. ábrákon a két polarizációra a source overprint modellezési eredményeit mutatjuk be, a hatás a TM módusznál erőteljesebben jelentkezik (Pethő G. 2009b).



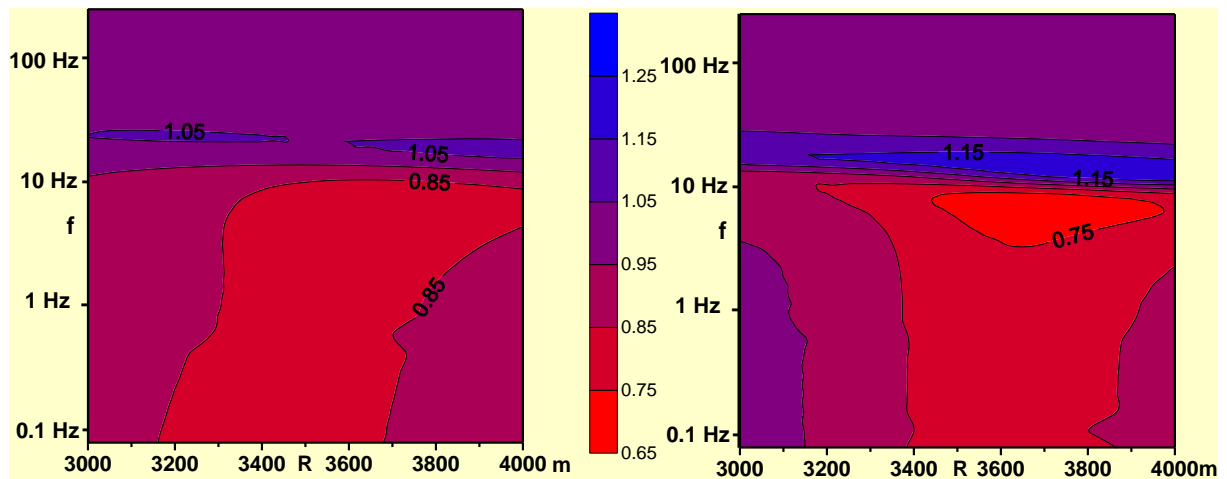
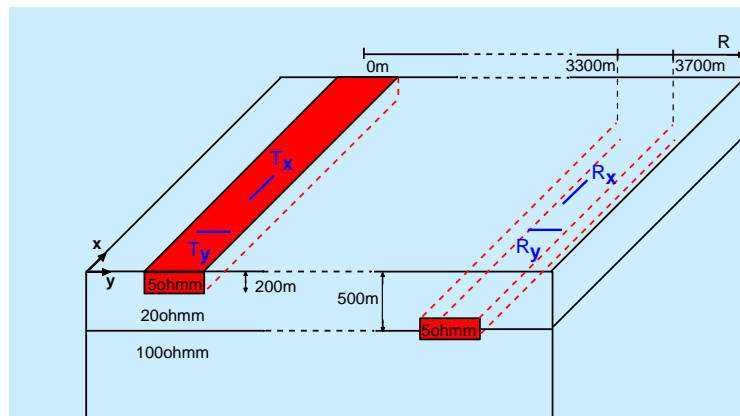
7. ábra. A 6. ábra felső részén látható modellre normált impedancia amplitúdó metszet TE (bal) és TM módusra (jobb oldal)



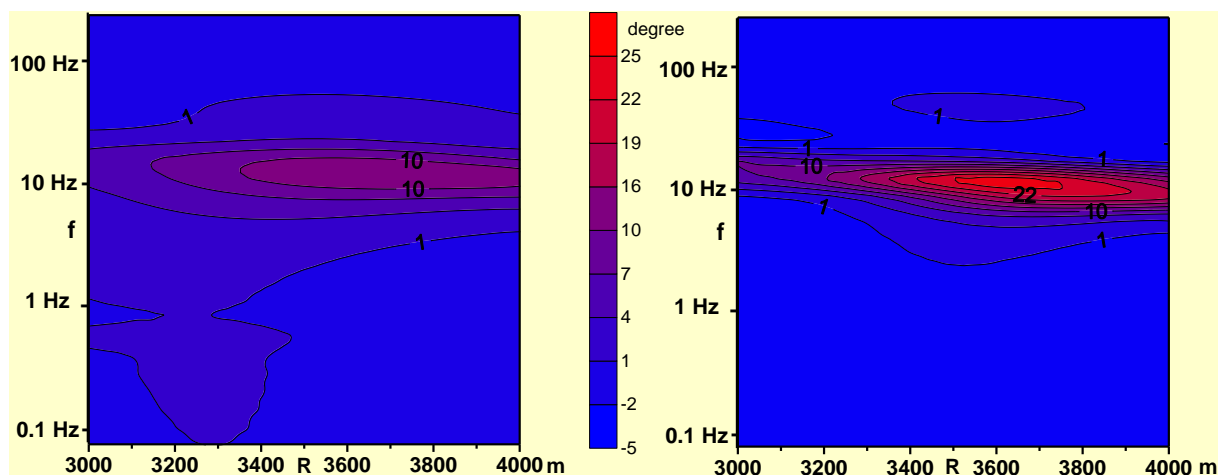
8. ábra. A 6. ábra felső részén látható modellre normált impedancia fázis metszet TE (bal) és TM módusra (jobb oldal)

Megvizsgáltuk a vevők alatt elhelyezkedő inhomogenitás kimutathatóságát source overprint feltételezésével. Az 9. ábra felső részén látható modell mutatja ezt az esetet. A normált impedancia metszeteken jól látható, hogy a vevő alatti jó vezető inhomogenitás okozta

impedancia változás a source overprint hatás miatt elkenet jelentkezik, ugyanakkor mivel mind a két inhomogenitás környezetéhez képest jobban vezet, ezért impedancia amplitúdó csökkenés és impedancia fázis növekedés figyelhető meg a 6.ábra modelljéhez képest.



9. ábra. A felső részen látható modellre normált impedancia amplitúdó metszet TE (bal) és TM módusra (jobb oldal)



10. ábra. A 9. ábra felső részén látható modellre normált impedancia fázis metszet TE (bal) és TM módusra (jobb oldal)

A kutatási résztémához kapcsolódó publikációk jegyzéke

PETHŐ, G. (2005): Formalism comparison of 2-D MT and 2.5D FEM using electric dipole source, microCAD 2005 International Scientific. Conference., Section C: Geology & Mineral Resources, pp. 31-36, Miskolc

PETHŐ, G., FICSÓR, L., SZABÓ, I. (2006): Comparison of 2-D VLF and 2.5-D HED's far field regime EM fields, microCAD 2006 International Scientific. Conference., Section B: Geoinformatics Spatial Informatics & Mineral Resources, pp. 35-40, Miskolc

PETHŐ, G. (2007): EM parameters of 2.5-D FEM using electric dipole source in the transition zone. Presented in Intellectual service for oil & gas industry, Analysis, solutions, perspectives. Vol. 4. pp. 110-117, ISBN 978-963-661-761-5, Published by MU & USPTU, Miskolc

FICSÓR, L., PETHŐ, G., TÓTH, A., (2008): Upgrading 2.5-D FD modelling by parallelisation, microCAD 2008 International Scientific. Conference., Section O: Applied Information Engineering, pp.37-42, Miskolc

NÉMETH, N., PETHŐ, G. (2009): Geological mapping by geobotanical and geophysical means: a case study from the Bükk Mountains (NE Hungary). Central European Journal of Geosciences, Vol.1 (1) pp. 84-94, Versita, Warsaw

PETHŐ, G. (2009 a): Numerical modelling of CSAMT source effects for elongated conductivity structures, 11th Scientific Assembly of International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Sopron, iaga_abstract\DIV1\107-WED-O1345-0452.pdf

PETHŐ, G. (2009 b): FEM source effect investigation with 2.5D numerical modelling, 15th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Dublin, Near Surface 2009 Proceedings & Exhibitors' Catalogue, P59

PETHŐ, G. (2009c): Oktatási segédlet az EM FD modellezéshez (elektronikus formátum), pp.1-58, Miskolc

Fejlesztések a 2.5D-s FEM modellező rendszer programozási környezetében

Résztema vezető: Ficsor Lajos

Ezen OTKA kutatás keretében a 2.5D-s modellezések területén számítástechnikailag két előrelépés történt. Az első lehetővé tette az egyetem számítóközponti szerveréről a személyi számítógépre való áttérést és az azon történő futtatást. A másik egy algoritmus fejlesztést és program írást követően különböző szintű párhuzamos számítást (parallel processing) eredményezett.

A véges különbséges (FD) modellezés általában nagy számítógépigénnyel jellemezhető. A szokásos 2D-s FD feladatokhoz képest a 2.5D FEM előre modellezésnél a gépidőt megnöveli az a tény, hogy egyetlen frekvencián a nagyméretű ráccsal lefedett modellezni kívánt tértartományra a diszkrét, csapásirányú térbeli hullámszámok darabszámával (k_{xmax}) megegyező számban kell megoldani a feladatot. Az elsődleges cél az EM térkomponensekre és az azokból lezárható fizikai mennyiségekre frekvenciaszondázási görbék megadása, összesen f_{max} frekvenciára. Így legalább $k_{xmax} * f_{max}$ -szor kell megoldani a parciális differenciál egyenletrendszernek megfelelő komplex együtthatós lineáris rendszert a Fourier-transzformált térben (ui. a frekvencia változtatásával a rács geometria is változik, tehát vannak olyan "átmeneti frekvenciák", melyeken különböző geometriájú rácsokat vizsgálunk). A matematikailag és fizikailag is elfogadható futtatási eredményeket a ME-en a Számító Központban elérhető IBM AIX RISC/6000 R20 típusú gépen sikerült elérni a korábbi (VT 160, TPA 11/530, IBM RISC System/6000/320H típusú gépeken történt) fejlesztéseket követően. A kutatási időszak elején a 2.5D-s program futásával kapcsolatban megvizsgáltuk, hogy a rendelkezésünkre álló számítógépes lehetőségek közül melyik eredményezi a legkisebb CPU időt nagyméretű rács esetén. A futtatási idők összehasonlítása alapján indokolt volt, hogy a ME központi szerverét PC-s környezetre váltsuk fel, ugyanis egyetlen frekvencián 50sor x150oszlop-os rácsra a központi szerveren a feladat megoldása 2 óra 45 percet vett igénybe, míg az első évben rendelkezésünkre álló PC-n 5 óra 11percet. Ezt a gépidőt sikerült 2 óra 28 perc-re csökkenteni az ezen OTKA forrásból beszerzett DELL D510-1 notebook-on végzett számítások során és ehhez képest további 14%-os javulást eredményezett a HP xw4400 munkaállomás használata. Vizsgálatainkat olyan esetekre végeztük, ahol a sorok száma kisebb mint az oszlopoké. A blokk tridiagonális LU dekompozíció helyes algoritmizálása során az invertálandó blokkok mérete a kisebbik rácsméret négyzetével arányos.

Az újabb algoritmus fejlesztés elsősorban a párhuzamosítási lehetőségek vizsgálatának elvégzéséből adódott, mely magába foglalta a mátrix műveletek, a térbeli hullámszám értékek szerinti számítások, a frekvenciák szerinti számítások és ugyanazon modellre különböző gerjesztésekre vonatkozó számítások optimális párhuzamosítását (Tóth et al., 2007, Ficsor et al., 2008a).

Ismeretes, hogy a GRID technológia által biztosított parallel processing révén a nagy volumenű, egymástól függetleníthető számításoknál jelentős számítási idő megtakarítás érhető el. A fejlesztés célja ezért az volt, hogy a 2.5 dimenziós FEM direkt modellezési alkalmazás képes legyen a SEE-GRID infrastruktúra számítási kapacitásának a kiaknázására. A fejlesztés fontos szempontja volt, hogy az alkalmazás transzparensten végrehajtható legyen a legtöbb SEE-GRID számítási erőforráson és a végrehajtás minimális felhasználói beavatkozást

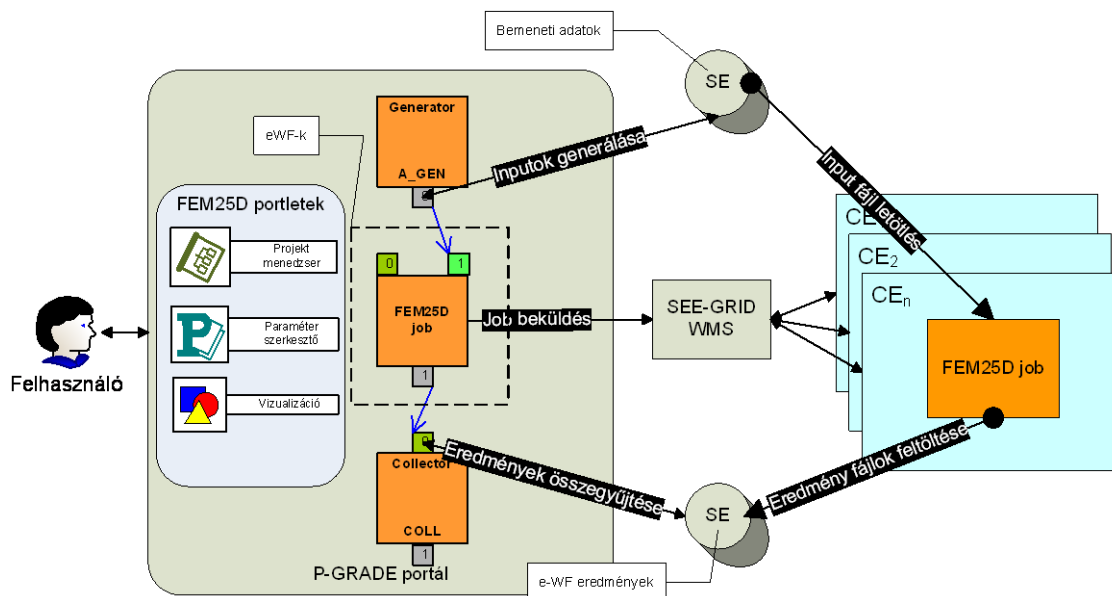
igényeljen, de szükség esetén legyen meg a lehetőség a felhasználó számára, hogy a végrehajtás folyamata felett nagyfokú kontrollt gyakorolhasson.

A követelmények biztosításához az alkalmazás portolási folyamat a következő lépések végrehajtását igényelte:

- az modellezési számításokat végző program átalakítása önálló Grid feladatként (single Grid job) történő végrehajtásra
- több hoszton történő, paraméter vizsgálat (Parameter Study) alapú végrehajtás megvalósítása
- az alkalmazás automatizált munkafolyamattá (workflow) történő szervezése
- a teljes modellezési folyamat elvégzését egyszerűvé és transzparensé tevő webes felhasználói felület kialakítása

A korábbi szoftver továbbfejlesztése a GRID-es környezet igényeinek megfelelően az input és output file-ok átstrukturálását és a számítás vezérlési szerkezetének átalakítását igényelte (Ficsor et al., 2008b, Tóth et al., 2009). A kutatás a SEE-GRID 2 projekt része is volt.

A továbbfejlesztett alkalmazás struktúráját és a GRID keretrendszerekkel való együttműködését a 11. ábrán láthatjuk.

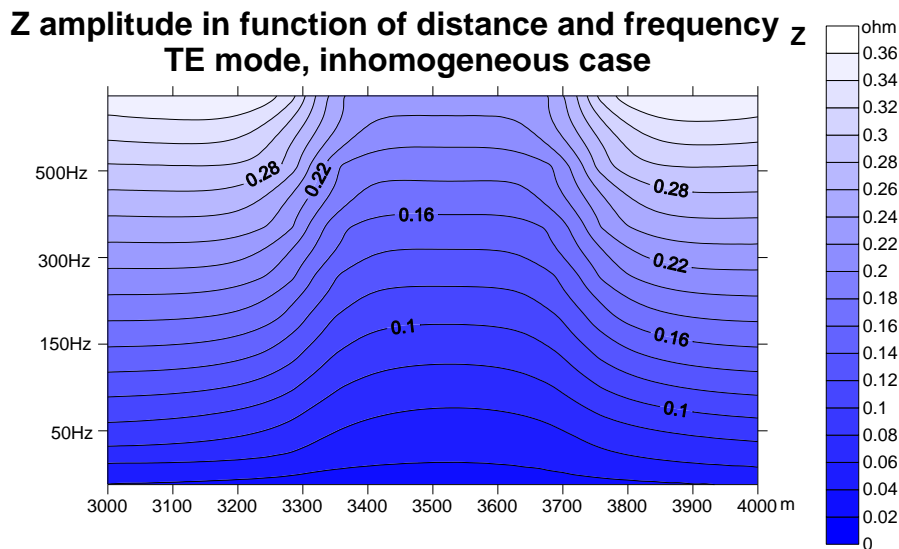


11. ábra GRID alkalmazás struktúrája a 2.5D FEM modellező rendszer esetén

A munkafolyamat végrehajtása a következő lépések alapján zajlik le:

1. A generátor job lefut a portál szerver gépen, amely a legenerált bemeneti fájlokat feltölti egy tároló entitásra (Storage Element – SE)
2. Ezt követően a portál beküldi a FEM25D job-okat az SEE-GRID erőforrás brókerére (Workload Management Service – WMS), amelyek egyidejűleg elkezdnek futni egy számítási entitáson (Computing Element – CE). A job-ok erőforrásokhoz történő hozzárendeléséért és hatékony ütemezéséért a WMS szolgáltatás felelős. A sikeresen lefutott FEM25D job-ok az eredményfájlokat feltöltik egy SE-re.

Azt követően, hogy minden FEM25D job sikeresen lefutott, a collector job kerül végrehajtásra, amely összegyűjti a SE-ken tárolt eredményfájlokat, továbbá kiválogatja a vizualizációhoz szükséges fájlokat.



12.ábra Két réteges fél-térben lévő hosszan elnyúlt jó vezető blokk felett kialakuló impedancia amplitúdó metszet, GRID alkalmazás révén számított eredmény

A vizualizációs modul készíti el az eredmények felhasználói igény szerinti megjelenítését, amely jelenleg bármely komponens állomásonkénti frekvenciaszondázási görbéje vagy a komponensek és a belőlük leszármaztatható mennyiségek adó-vevő távolság és frekvencia szerinti függése lehet. Az utóbbira látunk példát a 12. ábrán.

kutatási résztémához kapcsolódó előadások és publikációk jegyzéke

TÓTH, A., FICSÓR, L., PETHŐ, G. (2007): WP4: Applications Progress Report ,FEM2.5D/2.5 Dimensional Frequency Domain Electromagnetic Numerical Modeling, SEE-GRID-2 5th PSC (Project Steering Comitee) meeting Thessalonica, Greece

FICSÓR, L., PETHŐ, G., TÓTH, A., (2008a): Upgrading 2.5-D FD modelling by parallelisation, microCAD 2008 International Scientific. Conference., Section O: Applied Information Engineering, pp.37-42, Miskolc

FICSÓR, L., PETHŐ, G., TÓTH, A., (2008b): Gridification of a geophysical electromagnetic modelling system, microCAD 2008 International Scientific. Conference., Section O: Applied Information Engineering, pp.43-48, Miskolc

TÓTH, A., FICSÓR, L., PETHŐ, G. (2009): FEM 2.5D – Egy geofizikai elektromágneses modellező rendszer megvalósítása a GRID-ben. Szeged, Networkspoh konferencia diszk.

Befejezés

Elsősorban a 2.5D-s számítások elhúzódása miatt kértünk egy év halasztást, amit meg is kaptunk. A 2009. dec. 31-i zárás lehetővé tette, hogy a 2008-2009 évi fejlesztéseinket rangos nemzetközi konferenciákon (IAGA, Sopron és EEGS, Dublin) is ismertessük. Eredményeinket összesen 1 könyvfejezetben, 7 szakmai folyóirat cikkben, 11 nemzetközi konferencia előadáson ismertettük. Egy közel 60 oldalas oktatási segédlet is készült az EM frekvenciatartománybeli módszerek FD modellezése témakörben.

A zárójelentésben az elvégzett vizsgálatokat és a következtetéseket három fejezetben ismertettük. Az elért eredmények a földtani kutatásban hasznosulhatnak. Eredményeinkkel a kutatásokban egyre nagyobb súllyal jellemezhető mesterséges áramterű frekvenciális módszerek elméleti és gyakorlati megalapozásához járultunk hozzá.