

# Kétdimenziós elektromágneses modellezési eredmények IBM PC-n

STEINER TIBOR\*

*A dolgozat bemutatja az IBM AT PC-n működő SP kétdimenziós MT modellező programot, valamint az ennek eredményeit feldolgozó grafikus programcsomagot.*

*В статье представлена программа SP двумерного моделирования MT на профессиональном компьютере IBM AT PC и графический пакет программ обработки её результатов.*

*Two dimensional MT modelling program named SP running on IBM AT PC are shown in the paper and a graphic program package for the interpretation of the results.*

## 1. Bevezetés

Az elektromágneses jelenségek numerikus modellezésére szolgáló számítógépes programok többségükben „nagy számítógépet” igényelnek, tekintettel a jelenleg használatos módszerekre (véges elemes módszer, véges differenciák módszere; az előálló lineáris egyenletrendszer megoldása *Cholesky*-dekompozícióval vagy egyszerű iterációval). Ugyanakkor erős az igény a helyben és kis költséggel végezhető numerikus modellezés iránt. A személyi számítógépek fejlettsége ma már lehetővé teszi, hogy a nagygépekre írt numerikus modellező programok megfelelően átalakított változatai PC-ken fussanak.

Az alábbiakban bemutatandó *SP* program *IBM AT*-n működő kétdimenziós *MT* modellező program, amely *Rijo* (1977) nagyszámítógépes véges elemes (*FE*) modellező programjának módosítása olyan formában, hogy az eredetileg alkalmazott *Cholesky*-dekompozíció helyett frontális módszert használ (*Steiner*, 1989). Az alkalmazott átalakításokkal (frontális módszer, perifériahasználát, illesztés grafikus programokhoz) az *SP* program teljes két-dimenziós *MT*-modellező programrendszer, amelynek kezelése nagy mértékben mentes a fázasztó manualitástól. Inputjának megadása viszonylag egyszerű, output-ja közvetlenül képezi az eredményeket feldolgozó grafikus programok inputját.

## 2. Az *SP* program inputja

A 2. ábra az 1. ábra modelljének inputját mutatja egy frekvencián. Az input file szerkezete:

- modell leírása (1. sor)
- output file neve (2. sor)
- 3. sor tartalmazza: polarizáció típusa  
 $y$  irányú hálózemek száma  
 $z$  irányú hálózemek száma  
 ellenállások száma  
 frekvenciák száma
- ellenállások (4. sor)
- frekvenciák (5. sor)

\* MTA GGKI, Sopron.





- $y$  irányú hálózemek méretei (6–9. sor itt)
- $z$  irányú hálózemek méretei (10–13. sor itt)
- ellenállástérkép (14–24. sor). Az első 3 karakteren ismétlési tényező

van, ami nagy mértékben leegyszerűsíti a modell megadását.

Egy tipikus hálózsem négy részből áll (3. ábra). A hálózsemet alkotó négyszöget két átlója négy háromszögre osztja, mindegyik háromszögnek külön ellenállásérték adható. Ezért a programmal jól modellezhetőek dőlt rétegek.



Geo 88/14-3

3. ábra. Az SP program hálójának egy esemőja

Рис. 3. Один из узлов сетки программы SP.

Fig. 3. A node of the network of the program SP

### 3. Az SP program néhány jellemzője

A program az alábbi részekből áll:

- paraméterek beolvasása
- egyenletrendszer felállítása egyetlen lépésben
- az egyenletrendszer megoldása a frontális módszerrel
- szükséges egyéb számítások és az eredmények kiírása.

A programban egy puffer található, amely a megoldandó lineáris egyenletrendszernek éppen szükséges részét tartja a memóriában. A puffer kb.  $40 * 30$ -as hálóméret esetén még nem teszi szükségessé a perifériához fordulást (a puffer  $46\ 000\ COMPLEX * 8$  szám ábrázolására elegendő, a  $640\ K$ -s memória többi része az általános *overhead*. (Ilyen viszonylag kis *overhead* elfogadható.) A frontális módszer Cholesky-dekompozícióval működik. Az elimináció során egyszer előlről hátra kell elolvasni az egyenletrendszer szimmetrikus komplex szalagmátrixát, a visszahelyettesítés során pedig először előlről hátra, majd hátulról előre. A dekompozíció elméleti stabilitása biztosítja az eredmény pontosságát (a lineáris egyenletrendszer megoldásának pontossága  $10^{-6} - 10^{-7}$ , ami az *IBM AT REAL \* 4* számolási pontossága). Néhány jellemző futási idő:

Y irányú hálózemek száma	Z irányú* hálózemek száma	Pol.	Futási idő	Megjegyzés
40	30	E H	7 perc 4 perc	nincs perifériához fordulás
45	35	E H	40 perc 24 perc	perifériahasználát
75	65	E H	300 perc 180 perc	

\* Megjegyzés: H polarizációnál a Z irányú hálózemek száma  $\bar{I}0$ -zel kevesebb a feltüntettnél.

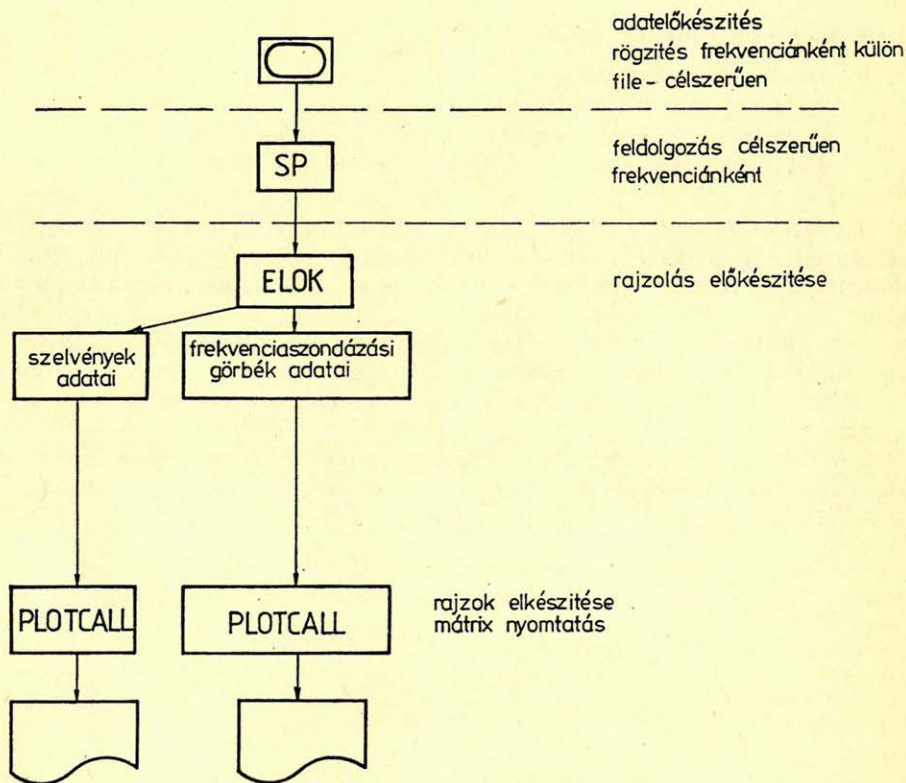


A futási idő növekedése természetesen az alábbi okok miatt következik be a hálószemek számának növekedésével:

- perifériahasználát (másodsorban),
- a futási idő gyakorlatilag csak a dekompozíció időigényétől függ, amely egyenesen arányos  $NDY * NDZ^3$ -kal, ahol  $NDY$  az  $Y$  irányú,  $NDZ$  a  $Z$  irányú hálószemek száma (elsősorban).

A futási idő emelkedése lehangoló lehet nagyobb hálóméret esetén. Ezt azonban ellensúlyozzák az alábbiak:

- $FE$  módszereknél kevesebb hálószem is elég adott pontosság eléréséhez mint a véges differenciák módszereknél.
- A dőlt felületek geometriájának pontos megadási lehetősége miatt elég viszonylag durva hálót szerkeszteni.
- A program az intézet  $IBM AT$  személyi számítógépén fut, így nincs szükség nagy számítógép használatára, ami költség- és emberi munkamegtakarítást jelent.



Geo 88/14-4

4. ábra. A feldolgozás általános menete  
 Рис. 4. Общий граф обработки  
 Fig. 4. The common scheme of the solution

#### 4. Az SP program outputja

Az output lista formában tartalmazza az inputot, a háló karakteres rajzát és eredményként az elektromos és mágneses terek felszíni értékeit, valamint a látszólagos fajlagos ellenállásokat. Az elkészült lemezfile-okból egy program (ELOK) összeválogatja (4. ábra) az eredményadatokat a következő grafikus rajzok elkészítéséhez:

- szelvények (PLOTCALL)
- frekvenciaszondázási görbék adott pontokban (PLOTCALL)

#### 5. Numerikus eredmények

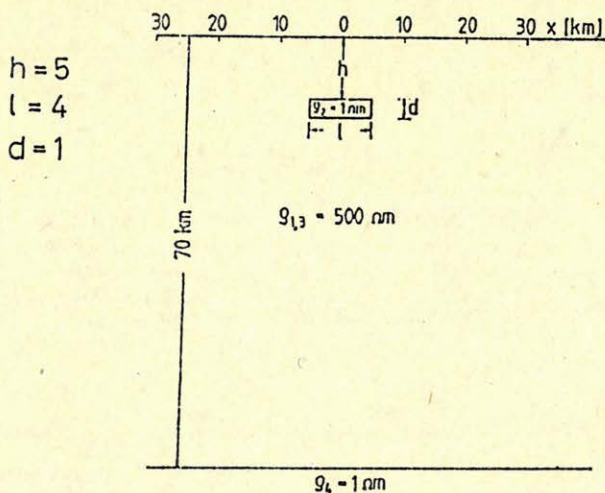
Mivel a numerikus modellező programok általában nem tartalmaznak hiba- vagy pontosságszámítást, ezért általános az eredményeknek egymás eredményeihez hasonlítása.

Az elkészült numerikus eredmények közül a következőket mutatjuk be:

- Összehasonlítás *Tátrallyay (1977)* programjával
- Összehasonlítás *Jugyin és Ananevics (1977)* programjával
- Összehasonlítás *Rijo (1977)* programjával, felszíni topológia modellezése (*Wannamaker et al., 1986*).
- Összetett modell (Gail-völgy)

##### 1. Összehasonlítás

*Tátrallyay (1977)* programja *FD* módszerrel működő program, amelynek eredményeit *Ádám (1987)* cikke alapján hasonlítjuk össze *SP* eredményeivel az 5. ábra egyszerű modelljén. Az összehasonlítás a 6. ábrán látható, amely jó egyezést mutat a két program által számított eredmények között.



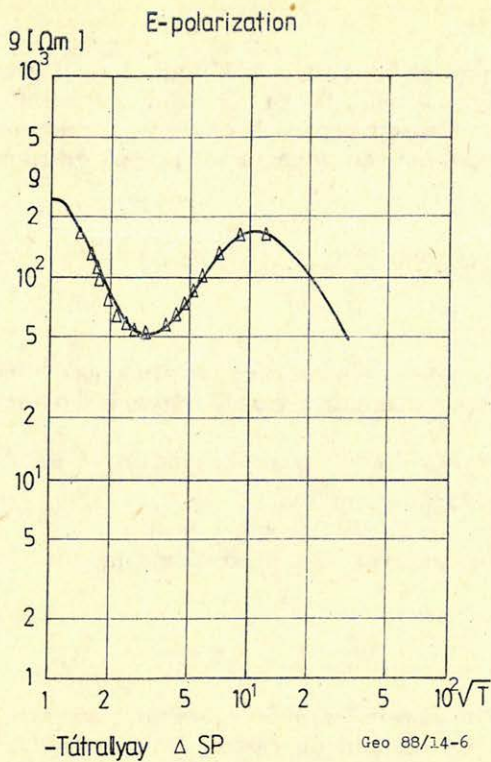
Geo 88/14-5

5. ábra. 1. sz. tesztmodell

Рис. 5. Тест-модель I.

Fig. 5. Test model No. 1.

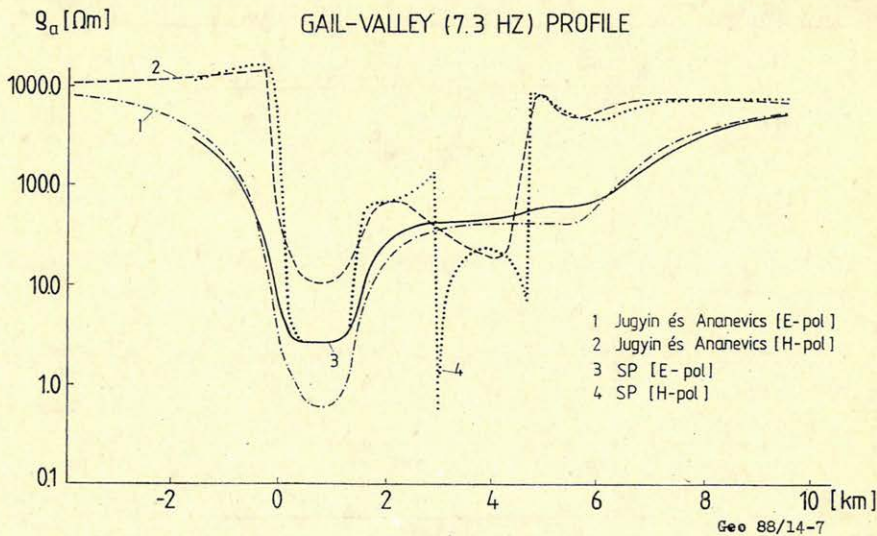




6. ábra. Összehasonlítás Tatrallyay M. programjának és az SP-nak az eredménye között az 1. sz. tesztdalra

Рис. 6. Сравнение результатов программ Tatrallyay м и SP на тест-модели I.

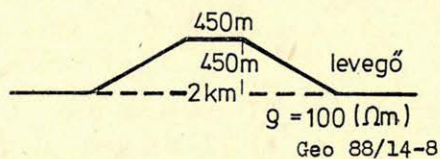
Fig. 6. A comparison of the program of Tatrallyay with the program SP for the test model



7. ábra. Összehasonlítás Jugyin és Ananevics programjának, valamint az SP-nek az eredménye között E-polarizáció abszolút értékre az 1. ábra modellje esetében

Рис. 7. Сравнение результатов программ Юдина и Ананевича и программы ЗР для абсолютного значения поляризации E в случае модели рис. 2.

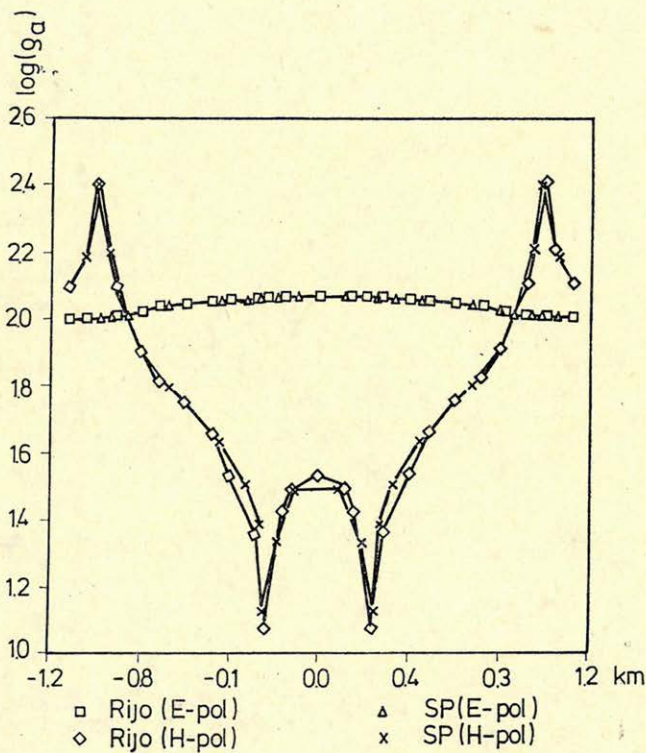
Fig. 7. Comparison of the result of the program Jugyin and Ananevics with that of the program SP for the absolute value of the E-polarization in the case of the model of Fig. 1.



8. ábra. 2. sz. tesztmodell

Рис. 8. Тест-модель 2

Fig. 8. Test model No. 2.

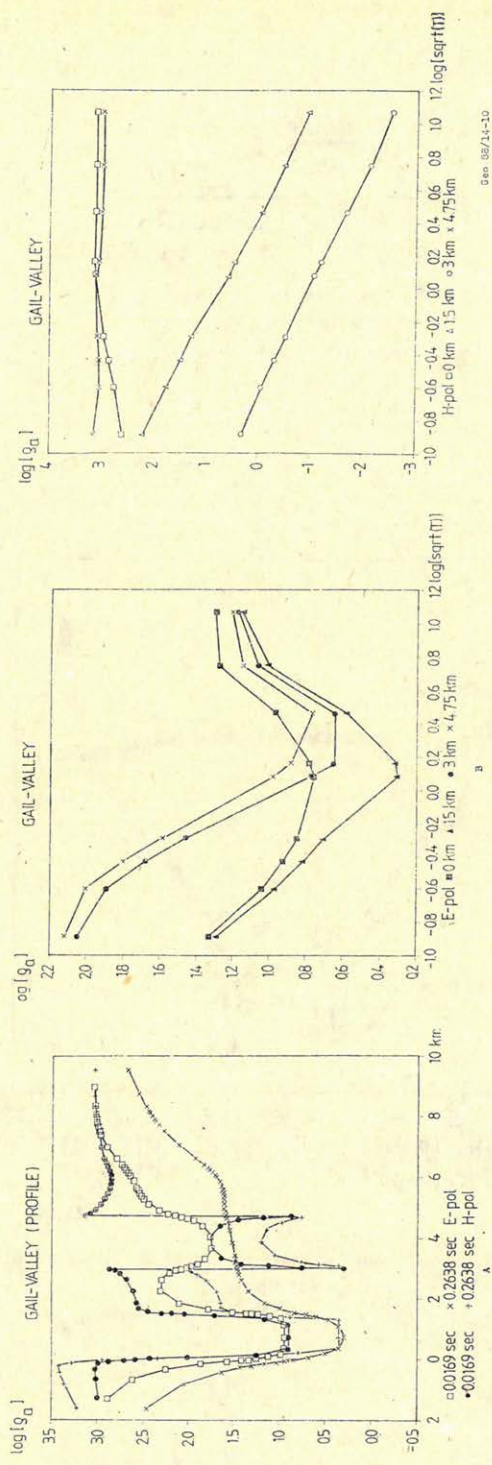


Geo 88/14-9

9. ábra. Összehasonlítás Rijo programjának, valamint az SP-nek az eredménye között a 8. ábra modelljére

Рис. 9. Сравнение программы Rijo и SP по результатам и модели рис. 8.

Fig. 9. Comparison of Rijo's program with the program SP for the model of Fig. 8.



See 88/14-10

10. ábra. Az SP programmal számolt eredmények az 1. ábra modelljére (fázisszelvények, frekvencia-szondázási görbék)

Рис. 10. Результаты, полученные программой SP на модели рис. 1. (фазовые кривые и кривые частотного зондирования).

Fig. 10. Results computed with the program SP for the model of Fig. 1. (Phase-sections, Frequency-sounding curves)



## 2. Összehasonlítás

Az 1. ábra modelljének numerikus modellezését Thuma et al. (1987) végezte el Jugyin és Ananevics programjával. Az 1. ábra modelljére Jugyin és Ananevics programjának, valamint SP eredményeinek összehasonlítása elfogadható egyezést biztosít E-polarizáció abszolút érték esetére (7. ábra). H-polarizáció abszolút érték esetén a felszíni 50  $\Omega$ m-es dike széléinél Jugyin és Ananevics programja folytonos átmenetet mutat. Ugyanitt SP eredménye szakadást jelez, ami valószínűbbnek tűnik.

## 3. Összehasonlítás

Az SP program lehetővé teszi felszíni nem-sík topológia modellezését is a megszokott inhomogenitások modellezése mellett. Ehhez a 8. ábra egyszerű domb modelljét használjuk (Wannamaker, 1986). Az értékek jól egyeznek SP eredményeivel (9. ábra). A fellelhető némi különbség a különböző hálóméretből adódik.

## 4. Összetett modell

Végül az SP program használhatóságát részletesen megvizsgáltuk az 1. ábra bonyolult modelljén. A modell vizsgálata segítséget nyújthat az intézet által vizsgált Periadriai vonal és Balaton-vonal mentén húzódó jólvezető elektromos anomális értelmezéséhez (Ádám et al., 1988). A modellezési eredmények egy része a 10. ábrán látható.

## 6. Eredmények

Fentiekben megmutattuk, hogy a frontális módszer alkalmazható FE módszerrel előálló lineáris egyenletrendszerek elfogadható költséggel való megoldására, személyi számítógép igénybevételével. Végül manualitást nélkülöző, egyszerű MT modellezési eredményeket interpretáló grafikus programcsomagot mutattunk be.

## IRODALOM

- Ádám A., Duma G., Horváth J.: Új közelítés a Periadriai-Balaton vonal elektromos vezetőképesség-anomália értelmezéséhez audio-magnetotellurikus mérések alapján, Magyar Geofizika 1-2, 1988. 27-43.
- Ádám, A.: Tectonic Effects in the Magnetotelluric Field and their Numerical Modelling, Gerl. Beitr. Geophys. 96/1, 1987, 17-31.
- Jugyin, M. N., Ananevics, B. A.: Két- és háromdimenziós MT számítógép program, kézirat, 1987.
- Rijo, L.: Modelling of Electric and Electromagnetic Data; Ph. D. Thesis, Univ. of Utah, 1977.
- Tátrallyay, M.: Változó elektromágneses terek meghatározása kétdimenziós szerkezetekben a véges differenciák módszerével, Kandidátusi értekezés, MTA GGKI, 1977.
- Thuma, A.: Jugyin és Ananevics programjának összehasonlító vizsgálata, kézirat, GKV (1987).
- Thuma A., Westergom V. és Steiner T.: A Gail-völgy numerikus modellezése Jugyin és Ananevics programjával, kézirat, MPA GGKI, 1987.
- Wannamaker, P. E., Stodt, J. A. and Rijo, L.: Two-Dimensional Topographic Responses in Magnetotellurics Modeled Using Finite Elements, Geophysics 51, 1986, 2131-2144.