

# INTERNETES ALKALMAZÁS KOORDINÁTA TRANSZFORMÁCIÓRA NEURÁLIS HÁLÓZATOK ALKALMAZÁSÁVAL

Zaletnyik Piroska\*



*Web-based application for coordinate transformation using neural networks - Nowadays in Hungary more than one coordinate system are in use. Frequently it is necessary to transform from one coordinate system to another. The two most frequently used coordinate systems are the WGS-84 (coordinate system of the GPS) and the EOVS (Egységes Országos Vetület = Uniform National Projection). In geodesy coordinate transformation is a very important task and up to the present several methods were worked out. The artificial neural network provides a new technology for coordinate transformation. Above a certain number of data points neural networks can be applied very successfully, better than traditional methods. The disadvantage of these networks is the complicated use in the professional practice due to the complexity of the formulas. Therefore in this research a web-based application was made for coordinate transformation using neural network to make available these new results for everyone.*

Magyarországon manapság is, akárcsak régen, egyszerre több koordináta rendszer is használatban van. A két leggyakrabban alkalmazott rendszer a GPS mérések koordináta rendszere, a WGS-84 és az EOVS (Egységes Országos Vetületi) rendszer. A kettő között gyakran van szükség átszámításokra. A koordináta transzformációnak számtalan módszere létezik. Ebben a dolgozatban mesterséges neurális hálózatokat alkalmaztam ennek a problémának a megoldására. Ezek a hálózatok igen sok esetben hatékonyabban működnek a hagyományos megoldásoknál. Hátrányuk viszont, hogy a képletek bonyolultsága miatt nehezebben lehet a mérnöki gyakorlat számára elérhetővé tenni a kapott eredményeket, hiába jobbak ezek a korábbiaknál. Éppen ezért döntöttem úgy, hogy egy Interneten futtatható alkalmazást készítek az EOVS-WGS-84 koordináta transzformációra, mely ezt az új megoldást is mindenki számára elérhetővé teszi.

**Kulcsszavak:** neurális hálózat, koordináta transzformáció, internetes alkalmazás

**Keywords:** neural network, coordinate transformation, web-based application

## Bevezetés

Korábbi kutatásaimban már többször foglalkoztam a mesterséges neurális hálózatok geodéziai célú felhasználásával. Igen érdekes és aktuális téma, hogy hogyan lehet az informatika újításait, amilyen a mesterséges intelligencia fejlesztése is, a hagyományos mérnöki munkák során kamatoztatni.

Ezeket a hálózatokat nagyon sok területen lehet sikerrel alkalmazni. Én korábban felületközelítési feladatot (pontosabban a Magyarországi geoidfelület közelítését) és koordináta transzformációs összefüggések meghatározását vizsgáltam neurális hálózatokkal, minden esetben összevetve az eredményeket egy hagyományos módszerrel (Zaletnyik 2002, 2003). Ezen vizsgálatok alapján jól meghatározható, hogy mikor érdemes a jól bevált, hagyományos eszközökhöz nyúlni, és, hogy mikor érdemes megpróbálkozni ezzel az új eszközzel.

Általában nagy mennyiségű adat kezelésekor jobb eredmény érhető el neurális hálózatokkal, ilyenkor a hagyományos módszerek már nem elég pontosak a rosszul kondicionált egyenletek és a számítógép véges számábrázolásából eredő hibák miatt.

Ebben a dolgozatban folytatom a korábbi koordináta transzformációs vizsgálataimat, lehetőség szerint pontosítva a korábbi összefüggéseket. A sok elméleti vizsgálat után szerettem volna egy kicsit a gyakorlati használhatóság szempontjából is megközelíteni a feladatot, ezért készítettem egy Interneten is futtatható Java alkalmazást koordináta transzformációra, felhasználva a neurális háló-

\*BME, Általános Geodézia Tanszék  
1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.  
E-mail: zaletnyikp@hotmail.com

zatokkal meghatározott képleteket. Maguk a neurális hálózatos számítások a Mathematica 5.0 program neurális hálózatok kiegészítő moduljával készültek.

A cikkben először adok egy általános áttekintést a neurális hálózatokról. Ugyan manapság ez egy viszonylag divatos téma, és egyre többen foglalkoznak vele, mégis úgy gondolom, hogy a földmérők többsége nincs pontosan tisztában ennek az új módszernek a lehetőségeivel, ezért nem árt egy kis összefoglalás.

Ez után az áttekintés után a transzformációnál alkalmazott neurális hálózatokról és a felhasznált OGPSH pontokról lesz szó.

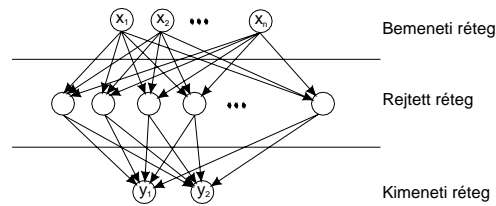
Végül az elkészült Java program szerkezetét mutatom be, ill. a Mathematica és a Java között felmerült konverziós problémákat.

## Neurális hálózatok

A mesterséges intelligencia egyik széleskörűen alkalmazható eszköze a mestersége neurális hálózat. Ezeket a hálózatokat az emberi idegrendszer működését tanulmányozva fejlesztették ki. Az emberi idegsejtek alkotják az alapját az idegrendszernek. Ezek a sejtek meglepően egyszerű felépítésűek, ahhoz képest, hogy „hálózatba rendezve” milyen bonyolult feladatokat látnak el.

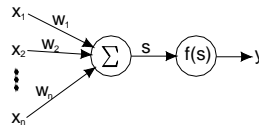
A mesterséges neurális hálózatok alapját is az „idegsejt”, a neuron képezi. Ezek a neuronok vagy csomópontok szintén viszonylag egyszerű felépítésűek, azonban hálózatokba rendezve bonyolult problémákra képesek megoldást találni tanulás útján. Az egyik fontos – a koordináta transzformációhoz is felhasználható – tulajdonsága ezeknek a hálózatoknak a leképzést közelítő vagy approximációs tulajdonság. Ennek segítségével ismert összetartozó adatpárokhoz (be és kimenő adatokhoz) meghatározható egy a kettő közötti kapcsolatot leíró ismeretlen közelítő, leképzési függvény.

A hálózatot leginkább úgy lehet elképzelni, mint egy rétegekből álló rendszert (1. ábra) (Horváth 1995). Minden hálózatban van egy bemeneti réteg, egy kimeneti réteg és egy vagy több rejtett réteg. Ezekben a rétegekben találhatóak a neuronok.



1. ábra. Neurális hálózat szerkezete

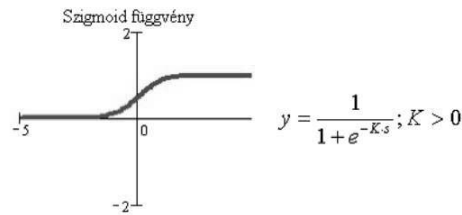
Egy neuron felépítését mutatja a 2. ábra. Az ábrán  $x_i$  jelöli a neuron bemenő értékeit,  $y$  pedig a kimenő jel értékét.



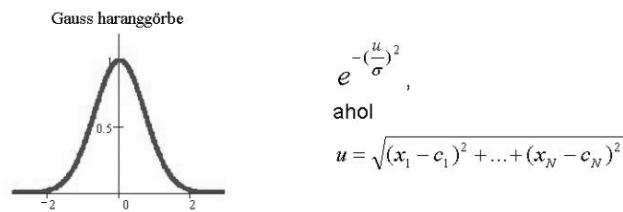
2. ábra. Neuron felépítése

Egy általános neuron először meghatározza a bemenő adatok súlyozott összegét (az ábrán  $s$ ), majd valamilyen nem lineáris leképzést hajt végre ezen az összegén és így megkapjuk a neuron kimeneti

jelét. Ezt a nem lineáris leképzést nevezik aktivációs vagy transzfer függvénynek is. Ennek a függvénynek a típusa igen fontos jellegzetessége a hálózatnak. Két gyakran alkalmazott aktivációs függvény a szigmoid és az RBF (radiál bázisú) függvény (3., 4. ábra).



3. ábra. Sigmoid aktivációs függvény



4. ábra. RBF aktivációs függvény

A fentiekben leírtak egy általános neuron működésének felelnek meg, amelynek pl. a rejtett rétegben találhatóak. A kimeneti rétegben sokszor ennél egyszerűbb felépítésű neuront alkalmaznak, mint ahogy én is tettem a koordináta transzformációnál. Az ilyen egyszerűbb neuronok csak lineáris összegezést valósítanak meg.

A hálózat által meghatározott leképzési függvény az alkalmazott neuronszámnak megfelelő számú aktivációs függvény súlyozott összegeként áll elő. A leképzési függvény, mely megteremti a kapcsolatot a be és kimenő adatok között, tanulási folyamat végeredménye. A tanulás egy konvergens iteratív eljárással történik, többnyire az ún. „backpropagation” algoritmussal. Ebben a szakaszban kerülnek meghatározásra az aktivációs függvényhez tartozó súlyok, paraméterek. Ezeknek a száma a rétegekben alkalmazott neuronszámtól függ, ezért a hálózatok tervezésénél fontos lépés a rétegszám, neuronszám és aktivációs függvény típusának megválasztása.

A neurális hálózatok működése két szakaszra bontható. Az első szakasz a lényegesen hosszabb tanulási rész, a második pedig a tesztelés. Ahhoz, hogy ezt a két szakaszt el lehessen végezni a rendelkezésre álló adatállományt is két részre kell bontani. Kell egy adatbázis tanulópontokkal és egy másik tesztpontokkal.

A tesztelésnek igen fontos szerepe van a neurális hálózatok egyik fontos hibahatásának, az ún. túltanulásnak az elkerülésében. A túltanulás azt jelenti, hogy a kapott közelítő függvény túlságosan illeszkedik a tanulópontokra, ugyanakkor a pontok között, a tesztpontokban egyre nagyobbak lesznek a hibák, rossz lesz a függvény általánosító képessége. Ez hasonló probléma, mint amikor kevés pontra illesztünk magas fokszámú polinomot.

## Koordináta transzformáció neurális hálózatokkal

Két vetületi rendszer között szabatos vetületi átszámítás (zárt matematikai összefüggések felhasználásával) csak akkor végezhető, ha a két vetület alapfelülete közös és ugyanannak a háromszögelési hálózatnak a pontjai vannak ábrázolva a két vetületen. Abban az esetben, ha a két vetületen nem ugyanannak az alaphálózatnak a pontjai vannak ábrázolva ill., ha eltérőek az alapfelületek, akkor az

átszámítás azonos pontok segítségével történhet, melyeknek mindkét rendszerben ismertek a koordinátái (Varga, 1997).

Az ilyen koordináta-transzformációnak több típusa van. Létezik igen sok hagyományosan alkalmazott módszer, melyeket most nem részletezek, új módszerként azonban a neurális hálózatok is alkalmazhatóak a feladat megoldására, köszönhetően a jó approximációs képességüknek. Korábban már Barsi 1999 alkalmazta a neurális hálózatokat transzformációs feladat megoldására.

Mint említettem, neurális hálózatos EOVS-WGS-84 koordináta transzformációval már én is foglalkoztam, most csak megpróbáltam tovább pontosítani a kapott eredményeket, illetve kicsit részletesebben megvizsgáltam a rendelkezésre álló adatok minőségét.

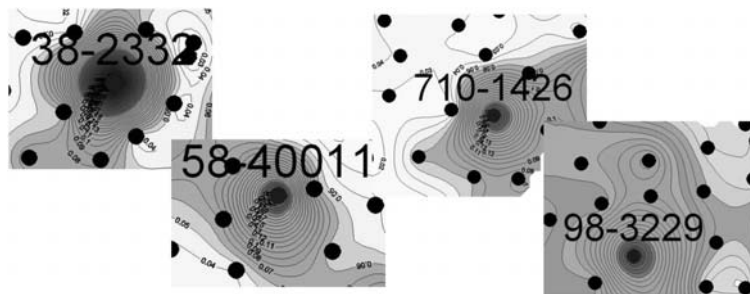
A korábbi vizsgálatok alapján tapasztalatlalag meghatározott legjobb hálózattípus (Zaletnyik 2003) egy rejtett réteget tartalmaz 30 neuronnal, szigmoid aktivációs függvényvel. A jobb tanulási folyamat érdekében a be- és kimeneti adatok skálázva vannak. A 4 koordinátára összesen 4 hálózat készül, mindegyik két bemenő és egy kimenő adattal (pl. Y,X EOVS koordináták  $\rightarrow$   $\Phi$  WGS-84 koordináta).

A transzformációs képlet javítása érdekében neurális hálózat sorozatot is próbáltam alkalmazni. Ezt a módszert korábban már sikerrel alkalmaztuk más közelítési feladatnál (Paláncz, Völgyesi 2003, Zaletnyik, Paláncz, Völgyesi 2004). Ennek a módszernek az a lényege, hogy először közelítjük egy neurális hálózattal a függvényt, majd miután a neuronszám növelés már nem eredményez újabb javulást, készítünk egy második hálózatot az első hálózat hibáira, majd egy harmadikat a második hálózat hibáira stb. Egy idő után természetesen itt sem javulnak már számottevően az eredmények. A korábbiakban egy 4 hálózatból álló sorozatot alkalmaztunk, amivel jelentős javulást lehetett elérni. Sajnos ez a módszer a koordináta transzformációnál nem vezetett lényeges javuláshoz, így végül nem alkalmaztam ezt a megoldást.

### OGPSH pontok vizsgálata

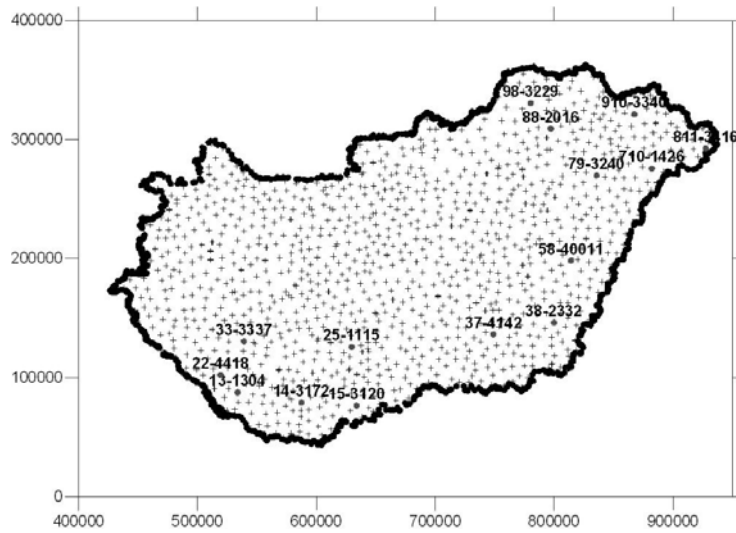
Az EOVS-WGS-84 koordináta transzformációhoz 1153 OGPSH pontot tartalmazó adatbázist használtam fel. Csak a vízszintes koordináták transzformációját végeztem el, magassági koordinátákat nem használtam.

A transzformációt nem csak neurális hálózatokkal hajtottam végre, hanem polinomokkal is, hogy tudjam mihez viszonyítani a kapott új eredményeket. A polinomos transzformációhoz felhasználtam az összes azonos pontot. Itt tűnt fel, hogy lehetnek durva hibás pontok is az állományban. Ez azoknál a pontoknál tűnt valószínűnek, ahol pl. az adott pont közelében a transzformáció jól működött, csak egy-egy pontban volt kiugróan magas az érték (5. ábra).



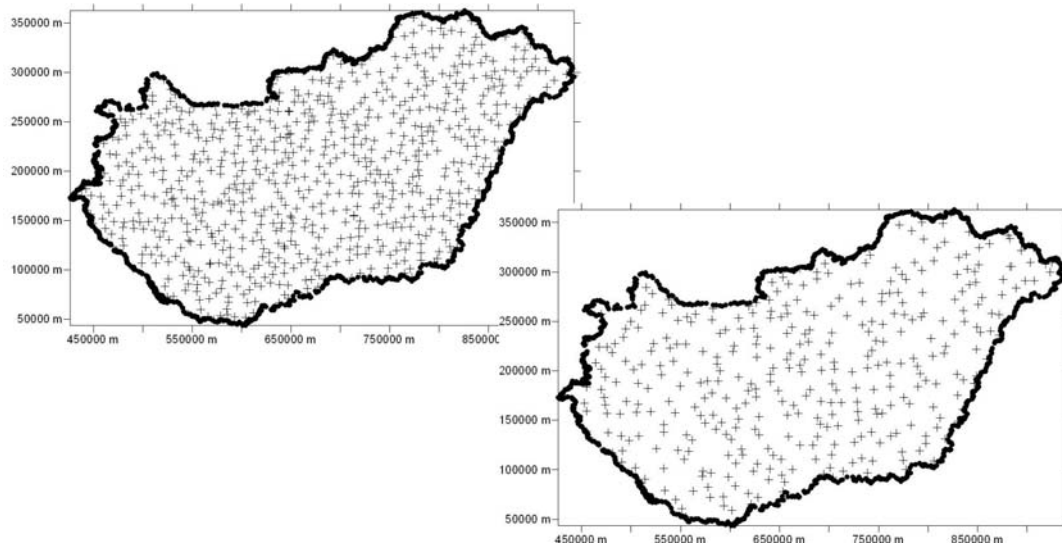
5. ábra. Néhány valószínűleg durva hibás pont maradék eltérései a környezetükhöz képest

E miatt összesen 15 pont lett kihagyva a transzformációból. Persze nem biztos, hogy mindegyik pont jogosan lett kihagyva a számításokból, de elég gyanúsak voltak, úgy gondolom, megérvé megvizsgálni ezeket a helyeket, hogy mi lehet a gond. A 6. ábra a kihagyott 15 pont elhelyezkedését mutatja.



6. ábra. Kihagyott pontok

A neurális hálózattal végzett koordináta transzformáció meghatározásakor a pontok 2/3-a lett kiválasztva tanulópontnak és 1/3-a tesztpontnak (7. ábra)



7. ábra. Tanuló és tesztpontok elhelyezkedése

## Eredmények

Most nézzük meg a neurális hálózatokkal kapott eredményeket, összehasonlítva egy ötödfokú polinomos transzformációval (Ötödfokúnál magasabb polinomot a Vetületi Szabályzat szerint már nem lehet alkalmazni. Ennek ellenére 6-od és 7-ed fokú polinom illesztését is megvizsgáltam, de itt már bizonytalan lett a megoldás az egyenletek rosszul kondicionáltsága miatt.). A következő táblázatokban a tanuló és tesztpontok transzformáció utáni eltéréseit együtt tüntettem fel, mivel így könnyebb összehasonlítani az eredményeket a polinomos transzformációval, és a két ponthalmaz eredményei között nem volt lényeges eltérés. Az I., II. táblázat a négy koordináta maradék eltéréseinek közép-

hibáját és maximális értékeit tünteti fel, 100 %-nak véve a polinomos közelítéssel kapott eredményeket.

I. táblázat. EOY Y,X koordináták maradék eltérései

	EOY Y				EOY X			
	középhiba		max. hiba		középhiba		max. hiba	
Polinom	4,6cm	100%	20,4 cm	100%	4.5cm	100%	22.2cm	100%
Neurális	3,4cm	73,9%	14,5cm	71,1%	3,3cm	73,3%	14,8cm	66,7%

II. táblázat. WGS-84  $\Phi$ , Akoordináták maradék eltérései

	WGS84 $\Phi$				WGS84			
	középhiba		max. hiba		középhiba		max. hiba	
Polinom	0,0015''	100%	0,0072''	100%	0,0022''	100%	0,0100	100%
Neurális	0,0011''	73,3%	0.0054''	75,0%	0.0016''	72,7%	0,0066''	66,0%

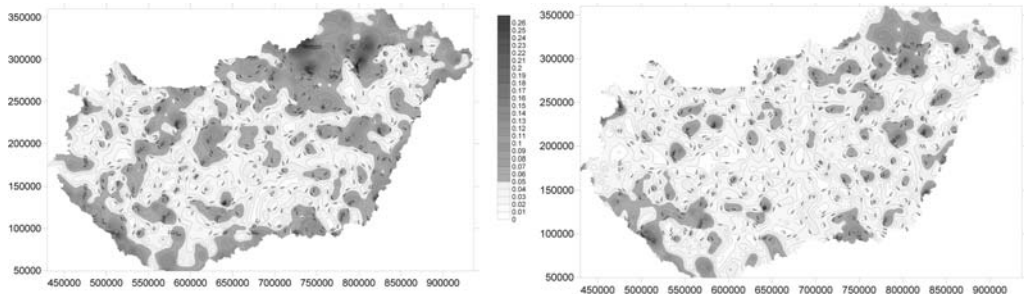
Mivel általában nem csak egy-egy koordináta maximális eltéréseire vagyunk kíváncsiak, ezért a III. táblázatban a vízszintes hibákat tüntettem fel  $\sqrt{x^2 + y^2}$ .

III. táblázat. Maradék vízszintes eltérések

	EOV				WGS-84			
	középhiba		max. hiba		középhiba		max. hiba	
Polinom	3,5cm	100%	26,1cm	100%	0,0015''	100%	0,0114''	100%
Neurális	2,6cm	74.3%	16,8cm	64,4%	0,0011''	73,3%	0,0073''	64,0%

Ha áttanulmányozzuk a fenti táblázatok eredményeit, akkor látszik, hogy a neurális hálózatok mintegy 30 %-kal jobb eredményt szolgáltatnak a hagyományosnak tekinthető polinomos transzformációhoz képest (Helmert és affin transzformációval az ország egész területére egységesen történő transzformáció esetén még rosszabb eredmények érhetőek el. Ezek a hagyományos módszerek lokális transzformációk esetében szolgáltatnak igazán jó eredményeket.).

30 % javulás már elég jelentősnek tekinthető. Ha a vízszintes eltéréseket nézzük, akkor az EOY esetében a maximális hibák 26 cm-ről kb. 17-re csökkentek és a középhibák is csökkentek kb. 1 cm-rel. Most nézzük meg a maradék eltéréseket térképen ábrázolva! (8. ábra)



8. ábra. Balra a polinomos közelítés, jobbra a neurális hálózatok maradék eltéréseinek ábrázolása

A fenti ábrán is szembevető az eredmények javulása a neurális hálózatos módszerrel történő transzformáció során. Világos színnel vannak jelölve az 5 cm alatti hibájú területek. Látszik, hogy a második ábrán már majdnem az egész ország területén kisebbek 5 cm-nél a hibák, 10 cm-nél nagyobb hibák pedig csak elvétve egy-egy kis pontban fordulnak elő, míg ugyanez nem mondható el a polinomos transzformációról.

## Internetes alkalmazás

Az eredmények azt mutatják, hogy érdemes lenne a neurális hálózatokkal kapott koordináta transzformációs összefüggéseket a gyakorlatban is alkalmazni. Ezt az összefüggést leíró függvényt a tanulási folyamat végrehajtásakor kapjuk eredményül, legalábbis az általam alkalmazott Mathematica szoftverrel, amely szimbolikus számításokat is végez. Sok más szoftver is létezik neurális hálózatokkal történő számításokhoz, pl. Statistica Neural Network, Braincel For Excel, ill. Matlab, sajnos azonban nem mindegyik szolgáltat eredményül egy később is felhasználható függvényt. Sok neurális hálózat modult csak úgy lehet használni, mint egy „fekete dobozt”, mivel ezek a programok a kapcsolatot leíró függvényt nem adják vissza, csak az eredményeket a bemenő adatokra. Szerencsére a Mathematica nem ilyen, így lehetőség nyílt a kapott eredmények későbbi felhasználására.

A gyakorlati alkalmazását az eredményeknek a képletek bonyolultsága és a meghatározott paraméterek viszonylag magas száma nehezíti. A neuronok számától függ a súlyok és paraméterek száma. Az adott feladatban alkalmazott neurális hálózat 30 neuront tartalmaz a rejtett rétegben, kétváltozós szigmoid aktivációs függvényvel / (1)-es képlet/.

$$\frac{w}{1 + e^{c - K_1 x - K_2 y}} \quad (1)$$

, ahol  $x$ ,  $y$  a két bemenő adat,  $w$  a kimeneti rétegben a neuronhoz rendelt súly,  $c$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  pedig az aktivációs függvény paraméterei. Minden neuronhoz tartozik 4 ismeretlen. A transzformációs függvény 30 ilyen aktivációs függvény összegeként alakul ki, illetve ehhez még jön egy konstans eltolásérték, a bias. Így összesen 121 ismeretlen paramétert határozunk meg a transzformációs képlethez.

Ahhoz, hogy a kiszámolt transzformációs képletek bárki számára egyszerűen hozzáférhetőek legyenek kézenfekvőnek tűnt, hogy Interneten tegyem közzé az eredményeket. Ehhez készítettem egy kicsi Java alkalmazást, ún. Applet-et. Tulajdonképpen készülhetett volna más programnyelven is ez az alkalmazás, én azért választottam a Java-t, mert ez egy igen hatékony, objektum orientált programnyelv, melynek fejlesztésekor fontos szempont volt, hogy alkalmas legyen WEB-alapú alkalmazások írására.

Némi probléma merült fel a képletek Mathematica-ból Java-ba történő átalakításakor, mivel a kettő szerkezete meglehetősen eltér. Szerencsére a Mathematica ismeri a C++ programnyelvet, így a képletek átalakíthatóak voltak ebbe a formába. A C++ és a Java nyelvek szerkezete meglehetősen hasonló, így a továbbiakban némi szerkesztéssel már könnyű volt a megfelelő formába hozni az összefüggéseket.

A program szerkezete nagyon egyszerű, csupán néhány objektumból, osztályból áll. A 4 transzformációs képletre készült 4 objektum, ezeket a „Transzform” nevű osztály fogja össze. Létrehoztam egy „Pont” objektumot, amelynek tulajdonságai között megtalálhatóak az EOVS és a WGS84 koordináták, ezek a „Pont” objektum létrehozásakor (példányosításakor) rögtön kiszámítottak. A programhoz a grafikus felületet az „Atszamitas” objektum biztosítja.

Fontos volt a program úgymond „bolondbiztossá” tétele, hogy kiszűrjük a hibás adatok megadását. Így nem lehet megadni a Magyarországot befoglaló téglalap határain kívül levő pontokat, sem szöveget ill. nem megfelelő formátumú számot (pl. a perc érték nem lehet negatív, ill nagyobb 59-nél). Ezek persze kissé elnagyolt szűrések, akkor lenne tökéletes, ha egyáltalán nem lehetne megadni Magyarországot határain kívül fekvő pontot (természetesen a transzformáció csak a határon belül működik), de mivel ennek a megoldása kissé körülményes lenne, így a felhasználó racionalitására van bízva, hogy a programot csak magyarországi pontokra alkalmazza-e.

Az elkészült programot a 9. ábra mutatja.

**WGS84-EOV koordináta transzformáció**  
(Neurális hálózatok felhasználásával)

WGS-84 koordináták

Szélesség  -  -

Hosszúság  -  -

EOV koordináták

Y koordináta

X koordináta

Készítette: Zaletnyik Piroska

9. ábra. Az elkészült Java applet

## Összefoglalás

Korábbi elméleti vizsgálatok alapján már bebizonyosodott, hogy a neurális hálózatok sokszor eredményesebben alkalmazhatóak közelítési feladatok megoldására, mint más hagyományos módszerek, azonban gyakorlati alkalmazásra a geodéziában még nem igazán volt példa. Ebben a dolgozatban arra tettem kísérletet, hogy a hagyományos mérnöki munkák, gyakorlati mérnökök számára is elérhetővé tegyem ezen kutatások eredményeit. Úgy gondolom ez legalább olyan fontos, mint maga az elméleti munka. Így mód nyílik arra, hogy ne csak egy szűk csoport tagjai tudjanak az egyre újabb és újabb informatikai kutatások felhasználási lehetőségéről, hanem szélesebb körben is elterjedhetnek ezek a módszerek.

A gyakorlati alkalmazás jelen esetben egy Magyarországon igen gyakori koordináta transzformációs feladatra, az EOV-WGS84 transzformációra készült el, Interneten futtatható Java applet formájában. A vizsgálatok alapján pontosabb eredmények kaphatóak ezzel a módszerrel, mint más szintén az ország egész területére egységes transzformációs paramétereket használó programokkal. Ehhez elvileg bárki hozzáférhet, akinek van Internet kapcsolata és a böngészője képes Java alkalmazásokat futtatni. A program jelenleg a [www.agt.bme.hu](http://www.agt.bme.hu) honlapról, a munkatársak rovaton belül, Zaletnyik Piroska publikációi alatt érhető el.

## Hivatkozások

- Barsi Á** (1999): Koordináta-transzformáció megoldása neurális hálózatokkal, *Geodézia és Kartográfia*, LI; 10, 12-18, Budapest.
- Horváth G** (1995): Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásai, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest.
- Paláncz B, Völgyesi L** (2003): High accuracy data representation via sequence of neural networks, *Acta Geod. Geoph. Hung.* 38; 3, 337-343.
- Varga J** (1997): Vetülettan, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest, 227-228.
- Zaletnyik P** (2002): Magyarországi geoidfelület közelítése neurális hálózatokkal, *BME Építőmérnöki Kar, Tudományos Diákköri Konferencia*, Budapest.
- Zaletnyik P** (2003): WGS-84 – EOV koordináta transzformáció neurális hálózattal, *BME Építőmérnöki Kar, Tudományos Diákköri Konferencia*, Budapest.
- Zaletnyik P, Paláncz B, Völgyesi L** (2004): Approach of the hungarian geoid surface with sequence of neural networks, *Paper presented at the XXth ISPRS Congress*, Isztambul, Törökország.