

## A KLÍMAVÁLTOZÁS NÖVÉNYFÖLDRAJZI HATÁSÁNAK MODELLEZÉSE ÉS A MESTERSÉGES NEURONHÁLÓK

**Bede-Fazekas Ákos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési  
Tanszék  
bfakos@gmail.com*

### **Bevezetés**

A Kárpát-medence várhatóan melegebb, nyáron csapadékszegényebb, a hidegebb félévben extrém csapadékokkal jobban terhelt jövőbeli klímája (BARTHOLY 2007, BARTHOLY 2008) mind a természetes, mind a telepített növénytakaró összetételében változást fog kikényszeríteni, melyre a tájépítészetnek (BEDE-FAZEKAS 2012a), botanikának (CZÚCZ 2010), és erdészetnek (MÁTYÁS 2010, FÜHRER 2010, CZÚCZ 2011) reagálnia kell.

### **Célok**

A regionális klímamodellek által szolgáltatott adattömegből térinformatikai szoftver segítségével térképes vizualizáció állítható elő, mely nem csak a szakemberek által értelmezhető, hanem széles körben is jól alkalmazható a klímaváltozás irányának és mértékének szemléltetésére (CZINKÓCKY 2012). Így modellezhetjük a hazánkban várhatóan megjelenő mediterrán növényfajok areáját, a hazánk területéről északra migráló növényfajok areáját, továbbá a hazánkba áthelyeződő vagy onnan elmozduló növényföldrajzi egységeket és a flóraválasztókat. A következőkben bemutatjuk a kutatás során eddig alkalmazott modell finomításának lehetőségeit, beleértve a mesterséges neuronháló (artificial neural networks, ANN) mint mesterségesintelligencia-algoritmus alkalmazását.

### **Irodalmi áttekintés**

Hazánkkal földrajzilag analóg régiókat az elkövetkező 60 évre Dél-Romániában, Észak-Bulgáriában, Szerbiában, Észak-Görögországban találunk (HORVÁTH 2008), így megismerve e területek növényzetét és dísznövénykínálatát, képet alkothatunk hazánk jövőbeli növényzetéről és dísznövény-alkalmazási lehetőségeiről. Ugyanakkor a 21. századi Kárpát-medence növényzetét és a medencébe telepíthető növények körét vizsgáló klímamodellekre kevés példa akad. Az erdészeti fajok közül leginkább a bükkre (*Fagus sylvatica* L.) készültek térképes modelledmények (FÜHRER 2008). A klímaváltozás természetes vegetációt, növényföldrajzot érintő hatását KOVÁCS-LÁNG (2008) és CZÚCZ (2010) vizsgálta. A későbbiekben ismertetett modellezési módszer finomítására javasolt mesterséges neuronhálókat belvizes területek modellezésekor alkalmazta VAN LEEWEEN (2008).

A nemzetközi irodalomban számos, a kutatásom során alkalmazott, illetve a tapasztalatok alapján javasolt módszerhez hasonló kutatást publikáltak. Ezek közül

kiemelendő ARUNDEL (2005) a kutatásommal számos párhuzamot mutató munkája. Érdemes továbbá kiemelni FRANKLIN (1995), HILBERT (1999), JENSEN (1999), ÖZESMI (1999), CARPENTER (1999), HILBERT (2001), BERRY (2002), PEARSON (2002), BERRY (2003), ÖZESMI (2006), HARRISON (2010), IVERSON (2008) és OGAWA-ONISHI (2010) kutatásait, akik fajok vagy vegetációk elterjedésének vizsgálatához vagy modellezéséhez alkalmaztak mesterséges neuronhálókat. STANKOWSKI (2010) kutatásában arra jut, hogy az elterjedési és környezeti adatoktól függetlenül nem található olyan eljárás, mely a modellt teljesítményét minden fajra maximalizálná, vagyis a különböző fajok különböző modellezési megközelítést igényelnek. GUI SAN (2000) nagyon jó áttekintést ad az ökológiai modellezésben használható módszerekről.

### **Anyag és módszer**

Az elterjedési területek modellezésnek három kiindulási adata a jelenlegi area, a meglévő klímamodell adatsora a referencia-időszakra, valamint a jövőbeli periódusra. A modellezés főbb szakaszai a következők: növény éghajlati igényeinek szűrése, validálás (modellezés a referencia-időszakra) és modellezés (modellezés a jövőbeli időszakra). Az elterjedési terület és a referencia-időszak klímaadatsora alapján szűrhetőek éghajlati paraméterenként azok a szélsőértékek, melyek közötti tartományt a növény elviseli. Közvetve tehát az elterjedés és a referencia-időszak adatsora alapján a növény éghajlati igényeiről kaphatunk képet. A klímamodell paraméterek szélsőértékei alapján közelíthető egy növény éghajlati igénye (klimatikus burkológörbe, (bio-)climatic envelope), a figyelembe veendő klímamodell paraméterek kiválasztása azonban szubjektív, a nem megfelelő számban választott paraméterek pedig a modellezés kudarcát is okozhatják. A modellezés e szakaszának eredménye minden fajra egy nulladrendű logikai formula, vagyis a növény igénye képletszerűen leírásra kerül. Ez a matematikai megközelítés feltétlenül szükséges ahhoz, hogy a telepíthetőségi terület a modellezés következő szakaszaiban számítógéppel kirajzolható legyen.

A növény éghajlati igényeinek ismeretében kiszűrhetjük azokat a területeket, amelyek a referencia-időszak adatsora szerint a növény számára megfelelő klimatikus körülményeket biztosítanak. Ezen területek összessége a növény potenciális elterjedési területe, még pontosabban pedig a referencia-időszak szerinti telepíthetőségi területe. A telepíthetőségi terület referencia-időszakra történő modellezése által nyílik mód validálni/érvényesíteni az eredményeket. A múltbeli telepíthetőségi terület és az elterjedési terület egymással való összevetése ad támpontot a jövőbeli telepíthetőségi területek, mint modelleredmények pontosságának felmérésére (A jó modelleredmények biztosítéka, ha a múltbeli telepíthetőségi terület közelíti az elterjedési területet.). A növény éghajlati igényeinek ismeretében nem csupán a referencia-időszakban kereshetünk a növény életfeltételeinek megfelelő területeket, hanem a jövőbeli időszakokban is. E harmadik szakasz a szűken értelmezett modellezés.

Növényföldrajzi egységek várható elmozdulásának modellezése visszavezethető az adott egységhez kötődő valós vagy fiktív faj elterjedési területének modellezésére.

Mindezidáig mediterrán származású fás szárú dísznövényekre és a Moesz-vonalra (MOESZ, 1911) készültek modellezések. Utóbbi jó példája a növényfajok elterjedési területére épülő, növényföldrajzi egységre futtatott modellezésére.

A Moesz-vonal várható eltolódásának modellezésére három eltérő lehetőséget vizsgáltam (ún. vonal-, elterjedés- és izotermamodellezés). Mindhárom módszert az ENSEMBLES RT3 projekt REMO klímamodellje alapján végeztem, mely 25 kilométeres horizontális felbontásban (170 x 190 pont) lefedi Európát. A felhasznált referencia-időszak 1961-1990 közötti, a modellezett időszakok pedig az IPCC SRES A1B scenárió alapján 2011-2040 és 2041-2070 közöttiek. A modellezést ESRI ArcGIS térinformatikai programmal végeztem. A három modellezési módszer részletes ismertetését és összevetését, továbbá az eredményeket BEDE-FAZEKAS (2012b) közli.

### **Eredmények**

A fentebb vázolt egyszerű modellezési módszer csak a klimatikus limitáló tényezőkkel operált, mégis a kapott modelleredmények jól szemléltették a klímaváltozás várható hatását. További klímamodellparaméterek (pl. hőösszeg, fagyveszélyes időszak hossza) bevonása, edafikus tulajdonságok (pl. mésztartalom, pH) figyelembe vétele és részletesebb bemenő adatok (pontosabb areatérképek, nagyobb felbontású klímamodellek) felhasználása természetesen a modellezés pontosságát nagymértékben növelni tudja, mégis fontos hangsúlyoznom, hogy az alkalmazott módszer fejlesztése adhat csak valóban lényeges minőségi javulást a modelleredmények megbízhatóságát illetően.

A modellezés során figyelembe vett, adott klímamodellparaméterhez tartozó minimum- és maximumértékek közötti intervallum szűkíthető a klímamodellparaméterre kirajzolt hisztogram (sűrűségfüggvény) és percentilisgörbe (eloszlásfüggvény) segítségével. Ezáltal a vizsgált faj elterjedésének vagy a növényföldrajzi egységnek a területén előforduló, de az elterjedés szélére húzódó szélsőséges értékek elhagyásra kerülnek, és csak vizsgált területhez nagyobb biztonsággal köthető klímaértékek vesznek részt a modellezésben.

További módszertani előrelépést jelenthet, ha a rendelkezésre álló véges sok éghajlati paraméter végtelen kombinációja közül nem szubjektív módon választunk, hanem a választást statisztikai módszerek vagy mesterségesintelligencia-algoritmusok segítik (vagy teljes mértékben elvégzik). IBÁÑEZ (2006) rámutat, hogy klimatikus burkológörbe meghatározásához többféle módszer alkalmazható, mint az egyszerű regresszió, a távolság-alapú módszerek, genetikai algoritmusok a szabályhalmaz szerinti előrejelzéshez és neurális háló.

### **Elemzés és összegzés**

A szubjektivitás mérséklésére alkalmas egyik statisztikai módszer a logisztikus regresszió, mely kiadja, hogy a klímamodellparaméterek milyen lineáris kombinációja határozza meg az előfordulási valószínűséget. Másik javasolt módszer a klaszteranalízis, mely a klímamodellparaméterek vektorát egy sokdimenziós tér pontjaként

értelmezi és olyan alacsonyabb dimenziót keres, melyben a az elterjedési terület különvált a környezetétől. Ezekon kívül alkalmazhatóak az osztályozási módszerek is.

A statisztikai módszereknél is nagyobb előrelépést adhatnak a különböző mesterségesintelligencia-algoritmusok. A növényfajok telepíthetőségi területének és a növényföldrajzi egységet területének modellezésére a mesterséges intelligencia több módszere is alkalmazható, többek között ilyen a döntési fa, pontosabban a regressziósfa-analízis, az evolúciós vagy genetikai algoritmus és a mesterséges neuronháló. A három módszer közül véleményem szerint leginkább a mesterséges neuronháló alkalmazható. A mesterséges neuronhálók alkalmazásának gondolata hasonló jellegű modellezési feladatok során nem újszerű, viszont dísznövények telepíthetőségi modellezésére tudomásom szerint még nem alkalmazták a módszert (vö. az Irodalmi áttekintés c. fejezettel).

A mesterséges neuronháló modellje egy axonokkal sűrűn ellátott idegsejthálózathoz hasonlítható leginkább, melyben az idegsejtek rétegeket alkotnak. Az algoritmus két részre bontható, melyből az első az ún. tanulási algoritmus. Ennek során a program saját belső szerkezetét kiépíti, kiegyensúlyozza olyan módon, hogy az az adott növény elterjedési területéhez a legjobban igazodjon. A tanulási algoritmus után a program Európa pontjairól képes megállapítani, hogy a modellezési időszakban (legyen az akár a referencia-időszak, akár a jövőbeli időszakok valamelyike) a növény mekkora valószínűséggel van/lesz jelen. A neuronhálóval ellentétben az előzőekben felsorolt statisztikai és mesterségesintelligencia-módszerek egyikéről sem mondható el, hogy az algoritmus futása után a kimeneti adat éppen a modellezési célnak megfelelő telepíthetőségiterület-térkép. Ugyanakkor mindezt másképpen is fogalmazhatjuk: a neuronháló az egyetlen módszer a felsoroltak között, amely nem képes szétbontani a növények éghajlati igényének szűrését a tényleges modellezéstől (black box).

A tanulási algoritmus lényege, hogy a növény elterjedési területe és a referencia-időszakbeli klímaadatsor alapján egy olyan összetett, többrétegű, de első rétegében a klímparaméterekből kiinduló súlyozott struktúrát alakít ki, melyekhez a súlyokat a tanulás során megadott – földrajzi pontokhoz köthető – bemeneti értékek alapján csökkenti vagy növeli (tanulási szabály). A súlyozás a neurális kapcsolatokhoz (axonokhoz) köthető, mértékét a súlyfüggvény adja meg. A tanulási algoritmus egy hosszú, de véges ciklus, melynek során a súlyfüggvények értéke folyamatosan változik. A neuronháló megfelelő parametrizálásával és felépítésével (a növények elterjedési területének modellezéséhez leginkább alkalmasnak az előrecsatolt többrétegű topológia, esetleg a backpropagation modell tűnik) az algoritmus képes lehet telepíthetőségi területek helyett elterjedési területeket modellezni, mely módszertani szempontból alapvető előrelépés lenne.

Összességében elmondható, hogy bár a jelenleg alkalmazott módszer eredményei is már látványosak, módszertani értelemben minőségi előrelépés lenne elérhető a mesterséges neuronhálók alkalmazásával. Mindezért a modellezés során ezidáig alkalmazott térinformatikai környezetben, Python programnyelven az algoritmus interpretálása megkezdődött.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005 projekt támogatta. Az ENSEMBLES-adatokat az Európai Unió FP6-ENSEMBLES integrált projektje finanszírozta, melyet hálásan köszönünk.

## Irodalom

- ARUNDEL, ST. (2005) *Using spatial models to establish climatic limiters of plant species' distributions*, Ecological Modelling 182(2): 159-181
- BARTHOLY, J.; PONGRÁCZ, R.; GELYBÓ, GY. (2007) *A 21. század végén várható éghajlatváltozás Magyarországon*, Földrajzi Értesítő, 56(3-4): 147–168.
- BARTHOLY, J.; PONGRÁCZ, R. (2008) *Regionális éghajlatváltozás elemzése a Kárpát-medence térségére*, In: HARNOS, ZS, CSETE, L. Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- BEDE-FAZEKAS, Á. (2012a) *Melegéényes díszfák telepíthetőségi területének előrejelzése a 21. századra*, Diplomamunka. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest
- BEDE-FAZEKAS, Á. (2012b) *Methods of modeling the future shift of the so called Moesz-line*, Applied Ecology and Environmental Research 10(2): 141-156.
- BERRY, PM.; DAWSON, TP.; HARRISON, PA.; PEARSON, RG. (2002) *Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland*, Global Ecology and Biogeography 11(6): 453–462.
- BERRY, PM., DAWSON, TP., HARRISON, PA., PEARSON, R., BUTT, N. (2003) *The sensitivity and vulnerability of terrestrial habitats and species in Britain and Ireland to climate change*, Journal for Nature Conservation 11(1): 15-23.
- CARPENTER, GA., GOPAL, S., MACOMBER, S., MARTENS, S., WOODCOCK, CE., FRANKLIN, J. (1999) *A Neural Network Method for Efficient Vegetation Mapping*, Remote Sensing of Environment 70(3): 326-338.
- CZINKÓCZKY, A.; BEDE-FAZEKAS, Á. (2012) *Visualization of the climate change with the shift of the so called Moesz-line*, In: BUHMANN, E.; ERVIN, S.; PIETSCH, M. Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2012 at Anhalt University of Applied Sciences. Herbert Wichmann Verlag, Berlin
- CZÚCZ, B. (2010) *Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése*, Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest
- CZÚCZ, B.; GÁLHIDY, L.; MÁTYÁS, CS. (2011) *Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe*, Annals of Forest Science 68(1): 99–108.
- FRANKLIN, J. (1995) *Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients*, Progress in Physical Geography 19(4): 474-499.
- FÜHRER, E. (2008) *Erdőgazdaság*. In: HARNOS, ZS.; GAÁL, M.; HUFNAGEL, L. *Klímaváltozásról mindenkinek*, Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematikai és Informatikai Tanszék, Budapest
- FÜHRER, E.; RASZTOVITS, E.; CSÓKA, GY.; LAKATOS, F.; BORDÁCS, S.; NAGY, L.; MÁTYÁS, CS. (2010) *Current status of European beech (Fagus sylvatica L.) genetic resources in Hungary*, Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae 25(1): 152-163.
- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, NE. (2000) *Predictive habitat distribution models in ecology*, Ecological Modelling 135(2-3): 147-186.

- HARRISON, S.; DAMSCHEN, EI.; GRACE, JB. (2010) *Ecological contingency in the effects of climatic warming on forest herb communities*, Proc Natl Acad Sci USA 107(45):19362-19367.
- HILBERT, DW.; VAN DEN MUYZENBERG, J. (1999) *Using an artificial neural network to characterize the relative suitability of environments for forest types in a complex tropical vegetation mosaic*, Diversity and Distributions 5(6): 263-274.
- HILBERT, DW.; OSTENDORF, B. (2001) *The utility of artificial neural networks for modelling the distribution of vegetation in past, present and future climates*, Ecological Modelling 146(1-3): 311-327.
- HORVÁTH, L. (2008) *Földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók elemzésében és értékelésében*, Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest
- IBÁÑEZ, I.; CLARK, JS.; DIETZE, MC.; FEELEY, K.; HERSH, M.; LADEAU, S.; MCBRIDE, A.; WELCH, NE.; WOLOSIN, MS. (2006) *Predicting Biodiversity Change: Outside the Climate Envelope, beyond the Species-Area Curve*, Ecology 87(8): 1896-1906.
- IVERSON, LR.; PRASAD, AM.; MATTHEWS, SN.; PETERS, M. (2008) *Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios*, Forest Ecology and Management 254(3): 390-406.
- JENSEN, JR., QUI, F., JI, M. (1999) *Predictive modelling of coniferous forest age using statistical and artificial neural network approaches applied to remote sensor data*, International Journal of Remote Sensing 20(14): 2805-2822.
- KOVÁCS-LÁNG, E.; KRÖEL-DULAY, GY.; CZÚCZ, B. (2008) *Az éghajlatváltozás hatásai a természetes élővilágra és teendők a megőrzés és kutatás területén*, Természetvédelmi Közlemények 14(1): 5-39.
- MÁTYÁS, CS.; BERKI, I.; CZÚCZ, B.; GÁLOS, B.; MÓRICZ, N.; RASZTOVITS, E. (2010) *Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology*, Acta Silv. Lign. Hung., 6(1): 91-110.
- MOESZ, G. (1911) *Adatok Bars vármegye flórájához*, Botanikai Közlemények 10(5-6): 171-185
- OGAWA-ONISHI, Y., BERRY, PM., TANAKA, N. (2010) *Assessing the potential impacts of climate change and their conservation implications in Japan: A case study of conifers*, Biological Conservation 143(7): 1728-1736.
- ÖZESMI, SL., ÖZESMI, U. (1999) *An artificial neural network approach to spatial habitat modelling with interspecific interaction*, Ecological Modelling 116(1): 15-31.
- ÖZESMI, SL., TAN, CO., ÖZESMI, U. (2006) *Methodological issues in building, training, and testing artificial neural networks in ecological applications*, Ecological Modelling 195(1-2): 83-93.
- PEARSON, RG., DAWSON, TP., BERRY, PM., HARRISON, PA. (2002) *SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species*, Ecological Modelling 154(3): 289-300.
- STANKOWSKI, PA.; PARKER, WH. (2010) *Species distribution modelling: Does one size fit all? A phytogeographic analysis of Salix in Ontario*, Ecological Modelling 221(13-14): 1655-1664.
- VAN LEEUWEN, B.; TOBAK, Z. (2008) *GIS Solutions for Belvíz monitoring: A case study in Csongrád county, Hungary*, XII. Symposium on Geomathematics, I. Croatian-Hungarian Geomathematical Conference, Mórahalom