

A Moesz-vonal jövőben várható elmozdulásának térinformatikai modellezési lehetőségei

Bede-Fazekas Ákos¹

¹Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési Tanszék,
bfakos@gmail.com

Abstract: According to the results of the regional climate models our future climate will be warmer and more arid. It has a high importance that the landscape architecture should become acquainted with the expected change to become able to adapt to it. Therefore, it is necessary to draw the future distribution of the plants or to model the shift of the Moesz-line, which characterizes multiple plants simultaneously, to visualize the extent and the direction of the climate change. Our research aimed to model the Moesz-line and display the results on maps, and compare the different modeling methods (Line modeling, Distribution modeling, Isotherm modeling). The model gave impressive results that meet our expectations. Two of the three proved methods showed that the Moesz-line will shift to Central Poland by 2070.

Moesz-vonal botanikai és tájépítészeti jelentősége

Moesz Gusztáv (1873–1946) botanikus, mikológus, muzeológus nemzetközi szinten mikológiai kutatásai révén vált ismertté. A közép-európai botanika és tájépítészet számára azonban egy több mint száz éve írt – nem mikológiai témájú – publikációja mindmáig meghatározó érvényű. Moesz felismerte, hogy bizonyos növényfajok elterjedési területének északi határa nagyrészt egybeesik, továbbá az így kirajzolódó flóraválasztó vonal a szőlőtermesztés északi határvonala is egyben (MOESZ G. 1911). E vonalat – mely akkor hazánk területére esett, ma Szlovákiában található – később róla nevezték el.

A vonal kirajzolásához Moesz eredetileg a szőlő (*Vitis vinifera*) termesztési területét és 12 növényfaj elterjedési területét vizsgálta, melyek a következők: csinos lengefű (*Aira capillaria* syn. *Aira elegantissima*), dunántúli ziliz (*Althaea micrantha* syn. *Althaea officinalis* subsp. *micrantha*), mezei fejrőze (*Cephalaria transsilvanica* syn. *Cephalaria transsylvanica*), réti iszalag (*Clematis integrifolia*), kék iringó (*Eryngium planum*), pusztai kutya-tej (*Euphorbia gerardiana* syn. *Euphorbia seguieriana*), orvosi kecskeruta (*Galega officinalis*), apró galaj (*Galium pedemontanum* syn. *Crutiata pedemontana*), gumós macskahere (*Phlomis tuberosa*), magyar zsálya (*Salvia aethiopsis*), parlagi sármányvirág (*Sideritis montana*), ékes vasvirág (*Xeranthemum annuum*). A felsorolt 12+1 növényfajon túl utóbb számos fajt kötöttek a Moesz-vonalhoz. Többek között ilyen a szelídgesztenye (*Castanea sativa*, BARTHA D. 2007), a cserszömörce (*Cotinus coggygria*), a virágos kőrös (*Fraxinus ornus*), a csertölgy (*Quercus cerris*) és a ligeti szőlő (*Vitis sylvestris*). Kutatásunkban felhasználtuk a felsorolt növényfajok

elterjedésiterület- és telepíthetőségiterület-térképét, melyek forrásai: MOESZ 1911, MEUSEL 1965, MEUSEL 1978, MEUSEL 1992, TUTIN 1964, EUFORGEN 2009.

A Moesz-vonal nemzetközi irodalomban alig fordul elő, hiszen lokális jelentőséggel bír csak. Fontos hangsúlyozni azonban, hogy kelet és nyugat felé tovább követve a szőlőtermesztés északi határvonalát megkapjuk a Moesz-vonal meghosszabbítását, mely a hozzá kötődő fajok némelyike (pl. epergyöngyike (*Muscari botryoides*), SOMLYAY L. 2003) elterjedésének északi határát a továbbiakban is kirajzolja. Ezáltal az egész európai kontinens számára nagy jelentőséggel bírhat a meghosszabbított Moesz-vonal (és annak modellezése), mert az nem csak a kárpát-medencei flórát és a medencébe telepíthető dísznövényeket jellemzi.

A regionális klímamodellek szerint a következő évszázadban a Kárpát-medence éghajlata melegebbé és szárazodni fog, mindemellett a szélsőséges csapadékok gyakorisága a melegebb félévben nőni fog (BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., GELYBÓ GY. 2007). Ez olyan kihívás elé állítja a tájépítész szakembereket, melyre mihamarabb fel kell készülniük. Az alkalmazkodás szükséges előfeltétele, hogy megismerjék a várható vegetációt és növényalkalmazási lehetőségeket. A nagyobb növények (főként a fák) kifejlődési ideje akár 30 év is lehet téralakítási szempontból, ezért fontos szemléltetni a következő évtizedekben várható éghajlati változást könnyen érthető, szemléletes ábrázolási technikákkal (SHEPPARD 2005). Kutatásunkban a jelenlegi és jövőbeli Moesz-vonal térképi ábrázolással jelenítjük meg a klíma északra tolódását, mely földrajzilag analóg régiók modellezése (HORVÁTH 2008a) mellett jó alternatíva lehet.

Modellezési lehetőségek

A Moesz-vonal várható eltolódását többféleképpen is lehet modellezni, mi három lehetőséget vizsgáltunk (vonalmodellezés, elterjedésmodellezés és izotermamodellezés). Mindhárom módszert az ENSEMBLES RT3 projekt REMO klímamodellje alapján végeztük, mely 25 kilométeres horizontális felbontásban (170 x 190 pont) lefedi Európát. A felhasznált referenciaidőszak 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 végeztük.

Az izotermamodellezés a három módszer közül a legkönnyebben megvalósítható. Lényege, hogy megkeressük azt a téli (vagy januári) minimumhőmérsékleti izotermát, amely a leginkább egybeesik a Moesz-vonallal, majd annak elmozdulását modellezzük. A módszer alkalmazásának veszélye, hogy semmi nem garantálja, hogy létezik ilyen izoterma minden flóraválasztó esetén. A Moesz-vonal olyan flóraválasztó, melynek meg tudtuk feleltetni

egy izotermát, így a módszer alkalmazásának kutatásunkban nem volt akadálya. Mivel az izotermamodellezés egy (vagy néhány) éghajlati paramétert vesz figyelembe, igen kevésbé megbízható módszer, pontatlan, és nem feltétlenül ad értelmezhető eredményt. Előnye ugyanakkor, hogy nagyon gyors és nem teszi szükségessé elterjedési területek digitalizálását. A vonalmodellezés az előzőnél jóval összetettebb módszer. Alkalmazásához ki kell rajzolnunk egy nem létező elterjedési területet (a fiktív Moesz-növény elterjedési területét), melynek északi határvonala egybeesik a Moesz-vonallal, déli határvonala lényegtelen, hogy merre fut. A modellezést ezen az elterjedési területen futtatjuk. Viszonylag lassú módszer, ugyanakkor az előzőnél jóval pontosabb eredményt ad. A három vizsgált módszer közül a legösszetettebb és egyben a leglassabb az elterjedésmodellezés, mely a korábban felsorolt 13+5 növényfaj elterjedési/telepíthetőségi területét külön-külön modellezi, majd – mint egykor Moesz Gusztáv – a kirajzolt jövőbeli területek alapján újrarajzolja a Moesz-vonalat. A módszer ugyan nagyon részletes eredményt ad, viszont a végleges vonal megrajzolása meglehetősen szubjektív.

Az izotermamodellezés kissé hasonlít a fagyérzékenységi zónák kirajzolásához, azonban az USDA-zónákhoz képest, mely abszolút minimumhőmérséklettel számol, az izotermamodellezéshez átlagos minimumhőmérsékletet használtunk.

A vonalmodellezés és az elterjedésmodellezés előkészítéseként digitalizáltuk Moesz eredeti térképeit, 20–25 georeferáló ponttal (országhatárok és vízrajz segítségével). Az elterjedésmodellezéshez szükséges volt az egyes fajok elterjedési területét is digitalizálni, hiszen egyedül az EUFORGEN adatok voltak térbeli adattal ellátva. Nem teljes elterjedési területeket vizsgáltunk, mindig csak az elterjedési terület Kárpát-medencébe eső részének északi tömbjét ragadtuk ki, amely déli irányban nem terjeszkedett túl a Moesz-vonalhoz (vonalmodellezés) rajzolt képzeletbeli elterjedési területen. Mivel az északi határvonalat modelleztük, ezért az elterjedési területek ilyentén megcsonkítása nem változtathat az eredményen.

Mindkét módszerhez szükséges volt a klímamodell által szolgáltatott pontszerű adatokat interpolálni, folytonossá tenni. A klímamodellből három paramétert használtunk fel, a havi középhőmérsékletet, a havi minimumhőmérsékletet és a havi csapadékösszeget. A 12 hónapra vonatkozó összes hőmérsékleti adatot figyelembe vettük, a havi csapadékösszegekből pedig a vegetációs időszak (április-szeptember) összcsapadékát képeztük, és azt vettük számításba. Hasonló módszerrel végzett korábbi elterjedésiterületmodellezések tapasztalata alapján a csapadék részletesebb figyelembe vétele mellett nem kapnánk értelmezhető eredményt, mert a klímaváltozás hatására a csapadéértékek más módon/sebességgel tolnának északi irányba, mint a hőmérsékletértékek (BEDE-FAZEKAS Á. 2011).

Mivel északi határvonalat modelleztünk, a hőmérsékletértékek alsó határát figyeltük csak (1×24 paraméter), a vegetációs időszak csapadékösszegének viszont az alsó és felső korlátját is számításba vettük (2×1 paraméter), így összesen 26 logikai feltétel együttes fennállása esetén mondtuk az adott földrajzi pontra, hogy megfelel a klimatikus elvárásoknak. Az elmondottakat az alábbi matematikai egyenlet foglalja össze:

$$\left(\prod_{i=1}^{12} I(\langle T_{mean} \rangle_i^f \geq \langle T_{mean} \rangle_{min}^r) \right) * \left(\prod_{i=1}^{12} I(\langle T_{min} \rangle_i^f \geq \langle T_{min} \rangle_{min}^r) \right) * I \left(\sum_{i=4}^9 \langle P \rangle_i^f \leq \max \left(\sum_{i=4}^9 \langle P \rangle_i^r \right) \right) \\ * I \left(\sum_{i=4}^9 \langle P \rangle_i^f \geq \min \left(\sum_{i=4}^9 \langle P \rangle_i^r \right) \right) = 1$$

A fenti képletben az $I(\lambda)$ indikátorfüggvény értéke 1, ha λ igaz, 0, ha λ hamis. A felső indexben r a referenciaidőszakot, f a jövőbeli időszakot jelenti, az i változó pedig az egyes hónapokon iterál végig.

Az egyes elterjedési területekről (és az első módszer során a Moesz-vonalhoz rajzolt képzeletbeli elterjedési területről) kigyűjtöttük a 25 paraméterre vonatkozó 26 szélsőértéket (25 minimum és 1 maximum), majd ezen tartományok között modelleztük a várható elterjedési területet a referenciaidőszakra és a két jövőbeli periódusra. Valójában a módszer nem az elterjedési területeket rajzolja ki, hanem azokat a területeket, ahol a növény a célidőszakban megtalálja a számára szükséges éghajlati paramétereket. Mivel a kiindulási területek csak a valódi elterjedési területek kiragadott részei voltak, ezért a modellezett területeknek csak az északi határvonala ad értelmezhető eredményt. A kutatásban az edafikus és mikroklimatikus adatokat nem tudtuk figyelembe venni. A referenciaidőszak modellezésével célunk volt kirajzolni a megfigyelt elterjedés és a modell alapján számított elterjedés közötti eltérést.

Modellezési módszerek eredményeinek összevetése

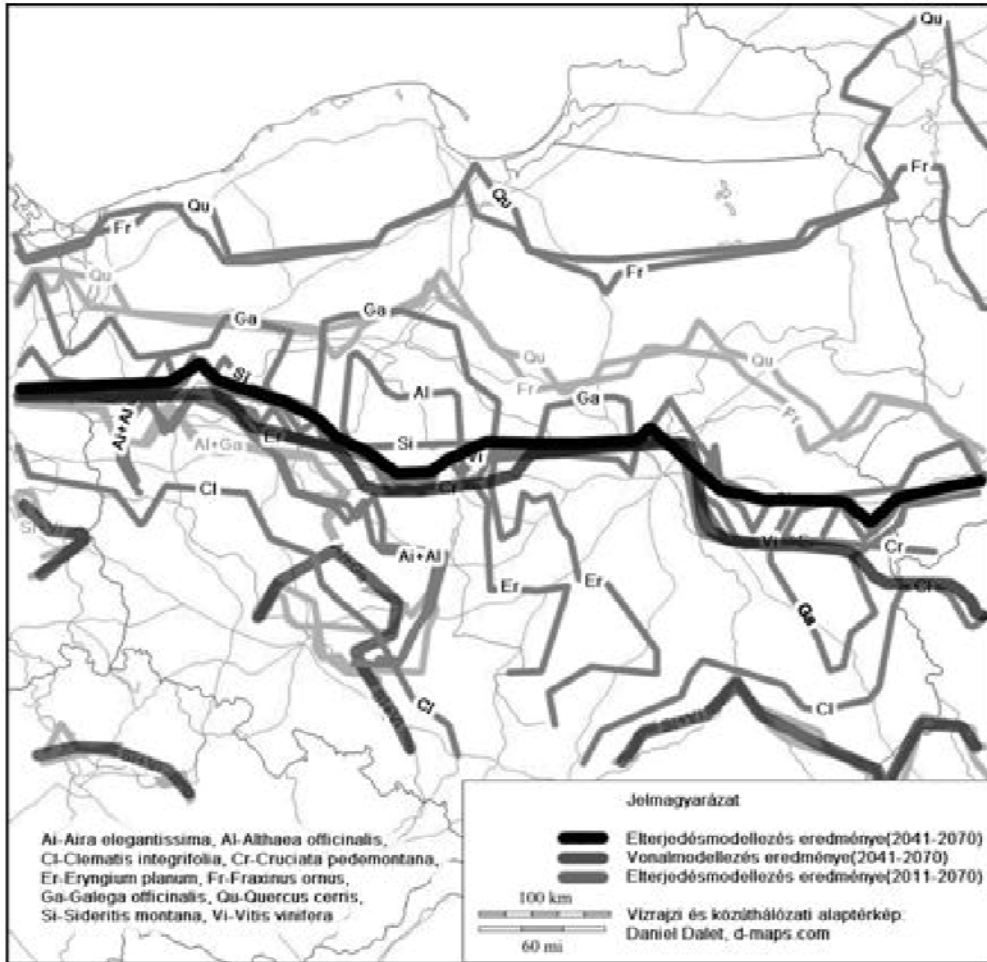
A vonalmodellezés eredménye szerint a referenciaidőszakra modellezett Moesz-vonal nagyjából követi az eredeti vonalat, a felhasznált klímamodell horizontális felbontása mellett ez a pontosság kimondottan jónak mondható. A 2011–2040 közötti időszak várható vonala a várakozásainkkal ellentétben nem mozdult el számottevően északra, sőt, Rimavská Sobota és Tisovec vonalától keletre a referenciaidőszak modellezett vonalától délre fut, Rožňava-tól keletre pedig az eredeti vonalat sem képes már átlépni. Ennek oka további vizsgálatra szorul, feltételezhetően a vegetációs időszak csapadékösszegének alsó korlátja tolja a kérdéses szakaszon a vonalat a várhoz képest ennyire déli irányba. A 2041–2070 közötti időszakban viszont már a várakozásainknak megfelelő eredményt kaptunk. A Moesz-vonal 3 helyen jelenik meg. Egyrészt a Kárpátokon magasabb régióba húzódik, másrészt

viszont a Kárpátoktól északra, Lengyelországban is megjelenik. Értelemszerűen így kialakul az anti-Moesz-vonal, amely a lengyelországi optimális éghajlatú területeknek déli irányban, a Kárpátok felé szab határt. Az eredmények összhangban állnak a Kárpát-medencével földrajzilag analóg régiók modellezésének eredményeivel (HORVÁTH 2008a).

Az elterjedésmodellezés a várakozásainknak megfelelően árnyaltabb képet adott a Moesz-vonal várható eltolódásáról (1. ábra), és ahogy azt sejteni lehetett, a fajok elszakadtak egymástól. Némelyikük már 2011–2040 között megjelent a Kárpátoktól északra (*Althaea officinalis*, *Galega officinalis*, *Sideritis montana*, *Vitis vinifera*, *Fraxinus ornus*, *Quercus cerris*), mások csak 2041–2070 között lépték át a Kárpátokat (*Aira elegantissima*, *Clematis integrifolia*, *Cruciata pedemontana*, *Eryngium planum*). A többi faj a vizsgált jövőbeli időszakban a Kárpátok déli oldalán maradt. Elmondható, hogy a Moesz-vonalat leíró eredeti 12+1 faj sokkal koherensebb elmozdulást rajzolt ki, a Moesz-vonalhoz utólag kapcsolt fajok – mivel azok elterjedését nem pontosan a Moesz-vonal határolja – sokkal diverzebb eredményt adtak. A cser (*Quercus cerris*) és a virágos kőris (*Fraxinus ornus*) elterjedése kiugróan sokat tolódik, továbbá egyedül ez a két faj találja meg a közvetlen kapcsolatot a Kárpátokon keresztül a szlovákiai és lengyelországi modellezett elterjedési blokkok között. Elmondható továbbá, hogy a bortermő szőlő (*Vitis vinifera*) és a parlagi sármányvirág (*Sideritis montana*) követi leginkább a vonalmodellezés módszerével kirajzolt 2041–2070 közötti északi vonalat.

Érdekes eredmény, hogy az előző módszerrel ellentétben a 2011–2040 közti időszakra a Moesz-vonal részlegesen átlépi a Kárpátokat, igaz, inkább csak foltszerű elterjedéssel jelennek meg a vizsgált fajok. Ugyanakkor a vonalmodellezésnél egyáltalán nem jelent meg a Kárpátoktól északra a Moesz-vonal.

Az izotermamodellezés a vártnál is gyengébb eredményt hozott. Az a januári minimum-hőmérsékleti izoterma ($-3,86\text{ °C}$), mely a referencia-időszakban nagyrészt egybeesett a Moesz-vonallal, már a referencia-időszakban is megjelent a Kárpátoktól északra, mégpedig nem is a Kárpátok vonalával párhuzamosan, hanem arra merőlegesen. Ennek oka valószínűleg a közeli tengerek kiegyenlítő klímamódosító hatása. Ez azonban a kontinentális éghajlati hatásoknak sokkal jobban kitett Moesz-vonal szempontjából nem vehető figyelembe. Így, függetlenül attól, hogy csak egy vagy több téli hónap minimum hőmérsékletét vizsgáljuk, az izotermamodellezés a Moesz-vonal eltolódásának vizsgálatára nem használható, vagy csak a Kárpátoktól délre eső területen. Az elmondott problémák miatt az izotermamodellezés eredményének részletes értékelésétől eltekintünk.



1. ábra A fajok modellezett elterjedése (világosszürke: 2011–2040, sötétszürke: 2041–2070) az újonnan meghúzott Moesz-vonallal, valamint a vonalmodellezés eredményével

Összegzés

A Moesz-vonal várható északra tolódásának modellezésére három egymástól független módszert próbáltunk ki. Várakozásainkhoz képest a Moesz-vonal eltolódása a 2011–2040-es időszakban jóval kisebb mértékű, a 2041–2070-es időszakra azonban már az előzetes becsléseknek megfelel az eltolódás.

Elmondható, hogy a vonalmodellezés és az elterjedésmodellezés nagyjából hasonló eredményt hozott a 2041–2071 közötti időszakra, míg a 2011–2040 közötti időszakban a Kárpátoktól északra csak az elterjedésmodellezés módszere rajzolta a Moesz-vonalat (igaz, az sem teljes bizonyos-

sággal). Ennek ellenére az utóbbi módszer sem ad annyival pontosabb, használhatóbb információt, amennyi fölösleges munkát jelent több növényfaj elterjedésének egymástól független modellezése. Ezért, a történelmi hűség és Moesz Gusztáv iránti tiszteleten túl nem látunk további érvet, mely az elterjedésmodellezés mellett szólna. Az izotermamodellezés a várakozásainknál is gyengébb eredményt hozott, ezért végül a vonalmodellezés tűnik a munkaarányosan legjobb eredményt adó módszernek.

Jelen módszerek gyengesége, hogy a rendelkezésre álló véges számú éghajlati paraméter végtelen kombinációs lehetőségeiből keveset választ ki, és azokat is önkényesen. Az ehhez hasonló modellezések fejlesztési lehetősége ezért a szubjektív választást megkönnyítő, objektívizáló statisztikai módszerek alkalmazása, vagy az emberi tényezőt teljesen kizáró, ezért teljesen objektív mesterségesintelligencia-módszerek alkalmazása. Ezek közül (döntési fa, evolúciós algoritmus, mesterséges neuronháló) elsősorban a mesterséges neuronháló alkalmazása tűnik jó megoldásnak.

Köszönetnyilvánítás

Különös köszönet illeti a kutatás során nyújtott segítségéért Höhn Máriát (Budapesti Corvinus Egyetem, Növénytani Tanszék) és Horváth Leventét (Budapesti Corvinus Egyetem, Matematikai és Informatikai Tanszék). 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

- BARTHA D. (2007): A szelídesztenye (*Castanea sativa*) botanikai jellemzése. Erdészeti Lapok 142(1): 14-16
- BARTHOLY J.–PONGRÁCZ R.–GELYBÓ Gy. (2007): A 21. század végén várható éghajlatváltozás Magyarországon. Földrajzi Értesítő, 51(3-4):147–168
- BEDE-FAZEKAS Á. (2011): Impression of the global climate change on the ornamental plant usage in Hungary. Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment 3(1):211-220
- EUFORGEN (2009): Distribution map of Chestnut (*Castanea sativa*). www.euforgen.org
- HORVÁTH L. (2008a): A földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók vizsgálatában. In: Harnos Zs., Csete L. Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- HORVÁTH L. (2008b): Földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók elemzésében és értékelésében. Doktori értekezés. Corvinus University of Budapest, Budapest
- MEUSEL, H.–E. J. JÄGER–E. WEINERT (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Band I. (Text und Karten). Jena: Fischer-Verlag

- MEUSEL, H.-E. J. JÄGER-S.-RAUSCHERT-E.-WEINERT (1978): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Band II, Text u. Karten. Jena: Gustav Fischer Verlag
- MEUSEL, H.-E.-J. JÄGER (1992): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Band III. (Text- und Kartenteil). Jena, Stuttgart, New York: Fischer Verlag
- MOESZ G. (1911): Adatok Bars vármegye flórájához. Botanikai Közlemények 10(5-6):171-185
- SHEPPARD, S. R. J. (2005): Landscape visualisation and climate change: the potential for influencing perceptions and behaviour. Environmental Science & Policy 8(6):637-654
- SOMLYAY L. (2003): A *Muscari botryoides* (L.) Mill. hazai alakkörének rendszertani-chorológiai vizsgálata. Doktori értekezés. Debreceni Egyetem, Természettudományi Kar, Debrecen
- TUTIN, T. G.-N. A. BURGES-A. O. CHATER-J. R. EDMONDSON-V. H. HEYWOOD, D. M. MOORE-D. H. VALENTINE-S. M. WALTERS-D. A. WEBB-J.-R. AKEROYD-M. E. NEWTON-R. R. MILL (1964): Flora Europaea. Cambridge University Press, Cambridge, UK