



Szent István Egyetem

**Fás szárú dísznövények potenciális
telepíthetőségi területének előrejelzése
természetközeli élőhelyekre készített modellek
alapján**

Bede-Fazekas Ákos
Gödöllő
2017

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem
Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori Iskola

tudományága: agrárműszaki

vezetője: Dr. Bozó László
egyetemi tanár, DSc, MHAS
SzIE, Kertészettudományi Kar,
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

Belső témavezető: Dr. Gerzson László
egyetemi docens, PhD
SzIE, Tájépítészeti és Településtervezési Kar,
Kert- és Szabadtértervezési Tanszék

Külső témavezető: Dr. Somodi Imelda Réka
tudományos munkatárs, PhD
MTA, Ökológiai Kutatóközpont,
Ökológiai és Botanikai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A tájépítészet különböző léptékekben és módszerekkel dolgozik ugyan, de legfőbb építészeti eszköze minden esetben a növény. A növény, mely szoros kapcsolatban áll környezetével, beleértve az éghajlatot is, és így a **helyes növényalkalmazás** elválaszthatatlanul összefonódik a környezet **klimatikus jellemzőinek** ismeretével. Az éghajlat azonban nem állandó; így nem beszélhetünk egy adott területen jól alkalmazható dísznövénytaxonok véglegesen kialakított listájáról sem. Ezért is különösen motiváló keresni a választ az általános növényalkalmazási kérdésre, hogy vajon **hol és mikor mit ültethetünk**.

A hozzáférhető környezeti adatok, számítási erőforrások, modellezési módszerek napjainkra már lehetővé teszik, hogy e kérdésre kellő szűkítések (értsd: időben, térben, vizsgálati körben stb.) után – ha pontos választ nem is, de – **becslést** adhassunk (**telepíthetőségi terület**).

A potenciális telepíthetőségi terület **modellezése**, bármilyen közel áll is logikai és módszertani értelemben a honos növényfajok potenciális elterjedési területének modellezéséhez, számos megválaszolandó kérdést felvet. Ilyen sarkalatos kérdés, hogy milyen **kiinduló (input) adatok** alapján épüljön fel a modell, mely főként egzóta dísznövényeink esetén nehezíti meg az eredeti modellezési koncepció alkalmazását (amely szerint az eredeti elterjedési terület alapján építünk modellt). Természetesen a **jelenlegi telepíthetőségi területeket rögzítő térképek** felhasználása lenne logikailag és a modellezési hibák minimalizálása szempontjából is a legalkalmasabb módszer a modell felépítésére (tanítására), ennek azonban egyetlen, ám igen komoly akadálya van: ilyen térképek **nem léteznek**.

Kutatásom során egy látszólag egyszerű és kézenfekvő, ugyanakkor eddig tudtommal mások által nem alkalmazott módszerrel nyerek bemeneti adatokat a potenciális telepíthetőségi területek modellezéséhez: a **természetes vegetációhoz kötöm** a vizsgálatba vont dísznövénytaxonokat, és a **potenciális jövőbeli vegetációt kirajzoló modelleredményekre támaszkodva** készítem el a dísznövények jövőbeli potenciális telepíthetőségi térképét.

Kutatásom során célom volt, hogy

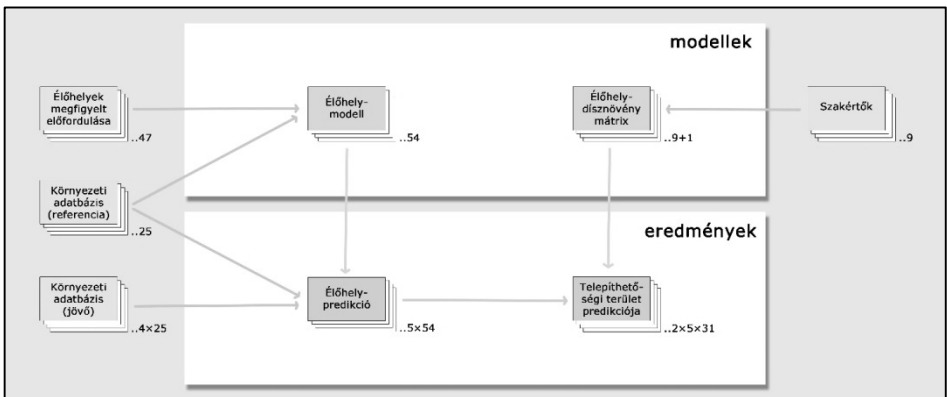
- prediktív **ökológiai modellt** építsek fel Magyarország szubklímá és klímá élőhelyeire vonatkozóan;
- a modellfuttatás eredményének kiértékelésével megvizsgáljam a 21. századi éghajlatváltozás **várható hatását az élőhelyekre**;
- a szubklímá és klímá élőhelyeken való telepíthetőségük alapján jellemezzem a vizsgálatba vont, 31 jelentős fásszárú **dísznövénytaxon környezeti igényét**;
- modellezem és elemezzem az **éghajlatváltozás hatását a kiválasztott dísznövénytaxonok potenciális telepíthetőségi területére**;
- a vizsgálat eredményei alapján értékeljem a kiválasztott taxonok **alkalmazási lehetőségeinek várható megváltozását**.

Míndezáltal a díszertáció legfőbb célkitűzése, hogy bemutassa egy **újszerű modellezési módszer** (keretrendszer) alkalmazását, az eredményeket pedig **térképen** jelenítse meg.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatásom két fő pillérből áll: ökológiai modellezésből (**élőhelymodellezésből**) és dísznövények potenciális **telepíthetőségi területének modellezéséből**. Bár a második pillér az elsőre támaszkodik, fordítva ez nem igaz: az ökológiai modellezés önálló egységet képez, a telepíthetőségterület-modellezés viszont csak az előbbivel együtt értelmezhető.

Az alábbi ábrán bemutatott modellezési keretrendszerrel lehetőségünk nyílik dísznövények potenciális telepíthetőségi területét úgy modellezni, hogy a modellhez **tanító adatunk nem áll rendelkezésre**. A 9 **szakértő** tudását felhasználva 9 **élőhely-dísznövény mátrix** készült, és további egy, összevont mátrix. Így kétféle módon nyílt lehetőségem a 31 vizsgált dísznövény telepíthetőségi területét modellezni, mind az **öt klímacélra** (referencia-időszakra, valamint két klímamodell szerinti két predikciós időszakra).



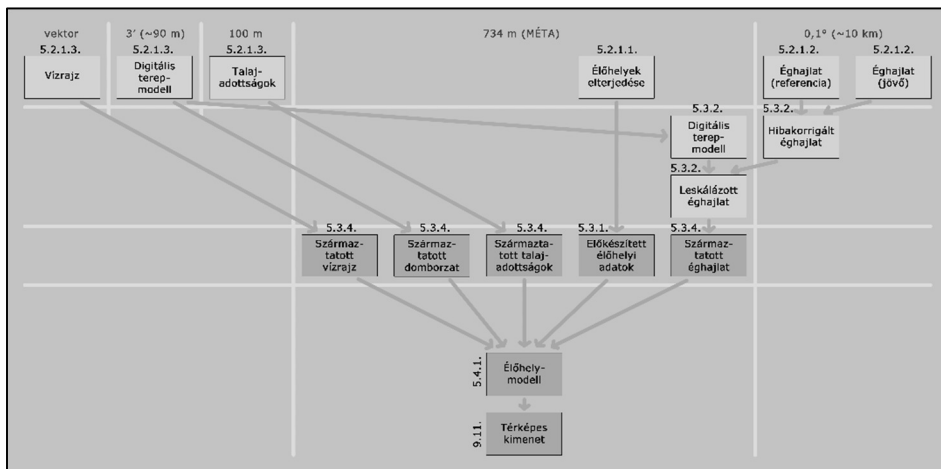
Ehhez felhasználtam a megfelelő klímacélokra vonatkozó élőhelypredikciókat, amelyek a referencia-időszakbeli és jövőbeli környezeti adatbázis, valamint a 47 önálló és 7 összevont élőhelyre felépített élőhelymodell alapján készültek. Az élőhelymodellek építéséhez **függő változó** gyanánt az élőhelyek előfordulási (**jelenlét-hiány**) adatát, **háttérváltozó**ként (prediktorként) pedig a következő környezeti adatokat használtam:

- 26 **talajtani** – kémhatással, szervesanyag-tartalommal, gyökerezési mélységgel, talajvízmélységgel és frakcióarányval kapcsolatos – változó;
- 9 **vízrajzi** változó (víztestektől vett távolság);
- 6 **topografikus** változó (domborzati változatosság) és
- 27 **éghajlati** változó (bioklimatikus és szezonális változók).

Az élőhelymodell felépítéséhez használt – **származtatott** – adatok előállításához az alábbi – különböző horizontális felbontású – adatbázisokat használtam fel, melyek feldolgozását a következő ábrán tekintem át:

- Digitális, Optimalizált Tágabb Értelemben Vett Talajtérképek és Információk Magyarországon (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary, **DOSoReMI.hu**);
- a Shuttle Radar Topography Mission (**SRTM**) felméréséből származó digitális terepmodell;
- a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet **álló- és folyóvizeket** tartalmazó vektoros térinformatikai állománya;
- **CarpatClim-Hu**-adatbázis;
- **ALADIN**-Climate 4.5 és **RegCM** 3.1 regionális klímamodellek;
- Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa (**MÉTA**).

Az eredeti éghajlati változókat (**havi közép**-, minimum- és maximum-**hőmérsékletek**, valamint **csapadékösszegek**) Delta Change-módszerrel **hibakorrigáltam**, majd a magassági, szélességi és hosszúsági adatokra támaszkodva, mind az öt klímacélra e 48 változót **regressziós krigeléssel** leskáláztam.



A származtatott környezeti adatbázis 68 lehetséges (kezdeti) prediktorából iteratív szakértői változóselekciónal a **páronkénti korrelációt** és **multikollinearitást** elfogadható mértékben mutató, **végleges változóhalmazként 25 prediktort** jelöltem ki. A kutatásomban alkalmazott ökológiai modell (**Boosted Regression Trees, BRT**) minden vizsgált élőhelyre egy olyan függvényt talált, amelyek értelmezési tartománya 25 prediktorvektor, és nagyságrendileg 5000 darab háromszintű logikai elágazásrendszer kombinációjából épült fel. A függvény a predikció során egy 0 és 1 közötti értékekből álló vektort adott eredményül (értékkészlet), mellyel minden földrajzi pontban meghatározta, hogy az adott élőhely **potenciálisan mekkora valószínűséggel fordulhatna ott elő**, ha a megtelepedés korlátaitól eltekintünk. Ezen eredmény megfelelő (ötelemű ordinális skálára történő – átskálázása révén állítottam elő az élőhelyek **potenciális elterjedését bemutató eredménytérképeimet**.

A második pillér, a **dísznövények** telepíthetőségi területének modellje az ökológiai modellel végzett predikciókra épül, azokat fogadja **bemenetként**. A telepíthetőségiterület-modell szerkezete az előzőnél nagyságrendekkel egyszerűbb, lévén, hogy nem algoritmikus tanítással épül fel, hanem **szakértői döntések alapján**. A modell algoritmikus tanítása nem is lenne lehetséges, hiszen nincsen tanító válaszváltozóm:

nem ismerem kellő számú földrajzi pontban, hogy ott a vizsgált dísznövények biztosan telepíthetők-e. A telepíthetőségiterület-modell az élőhelyek jóslat (predikált) előfordulási valószínűségéhez egy könnyen értelmezhető és szemléltethető eszközzel, az **élőhely-dísznövény mátrixszal** kapcsolja a dísznövények telepíthetőségét mint valószínűségi értéket. E mátrix a soraiban a vizsgált dísznövényeket, oszlopaiban pedig a vizsgált élőhelyeket tartalmazza. Cellái egy **0 és 1 közötti számmal** kifejezik, hogy az adott dísznövény különösebb fenntartás nélkül **megmaradhat-e** olyan területen, **ahol az adott élőhely potenciálisan előfordulhat**. A mátrix előállítására többféle mód képzelhető el, kutatásomban én szakértők bevonásával több, egymástól független mátrixot állítottam elő (szakértőnként egyet), és ezekből képeztem a végső élőhely-dísznövény mátrixot. Ezt a modellbe többféle módon építhetjük be, disszertációmban **két lehetséges megoldást** mutattam be. A mátrix segítségével a vizsgálatba volt 31 dísznövénytaxon telepíthetőségi területét mind az öt klímacélra kirajzoltam.

EREDMÉNYEK

Kutatásom során az alábbi köztes és végeredményeket, -adatokat, -térképeket állítottam elő:

- két klímamodell és két jövőbeli predikciós időszak havi közép-, minimum- és maximum-hőmérsékleteinek, valamint havi csapadékösszegeinek (vagyis összesen 192 adatsornak) a **hibakorrigált**, $0,1^\circ$ -os (kb. 10 km-es) horizontális felbontású felülete, továbbá a – csapadék esetén multiplikatív, hőmérséklet esetén additív – **hibakorrektációs tényezők** felülete;
- két klímamodell és két jövőbeli predikciós időszak, valamint a referencia-időszak (összesen öt klímacél) havi közép-, minimum- és maximum-hőmérsékleteinek, valamint havi csapadékösszegeinek (vagyis összesen 240 adatsornak) a MÉTA-felbontásra (vagyis kb. 734 m-es hatszögrácsra) **leskálázott** felülete, továbbá a leskálázás során végzett **regressziók** és **félvariogram-illesztések** statisztikai jellemzői, valamint az **illesztett félvariogram-modellek**;
- 26 talajtani, 9 vízrajzi és 6 topografikus, valamint klímacélonként 27 éghajlati felület (**kezdeti prediktorhalmaz**) MÉTA-felbontásban;
- a kezdeti prediktorhalmaz **korrelációs struktúrája**, **multikollinearitásának** különböző mérőszámai és **klaszterelemzése** mind a négy klímacélra;
- 25 háttérváltozóból álló **végleges prediktorhalmaz**, valamint annak **korrelációs struktúrája**, **multikollinearitásának** különböző mérőszámai és **klaszterelemzése** mind a négy klímacélra;
- 54 **élőhelymodell**;

- az élőhelymodellek **statisztikai jellemzői** (fák száma, tanulási sebesség, elhagyott prediktorok, térbeli rendezési hiba stb.);
- az élőhelymodellek kiértékelési mérőszámai (modellenként négyféle **AUC-érték**) és a kiértékelést segítő **ROC-görbék**;
- az 54 élőhelymodell öt klímacélra készített **predikciói** (összesen **270 potenciális elterjedési térkép MÉTA-felbontásban**);
- az élőhely-dísznövény mátrix kitöltésével kapcsolatos **tapasztalatok**, észrevételek;
- a szakértői **élőhely-dísznövény mátrixok** négyféle (átlag, minimum, maximum, szórás) **összevonása**;
- az összevont élőhely-dísznövény mátrixok sorain és oszlopain végzett (összesen nyolc) **klaszterelemzés**;
- 31 dísznövénytaxon **potenciális telepíthetőségi területe** mind az öt klímacélra, kétféle modellezési módszerrel (mátrixátlag szerinti és ensemble) előállítva (összesen **310 potenciális telepíthetőségi térkép MÉTA-felbontásban**);
- 31 dísznövénytaxon potenciális telepíthetőségi területének bizonytalansága (összesen **155 bizonytalansági térkép MÉTA-felbontásban**);
- 31 dísznövénytaxon potenciális telepíthetőségi területét **meghatározó élőhely** (összesen **155 térkép MÉTA-felbontásban**);
- a modellezési keretrendszer alkalmazásával kapcsolatos **tapasztalatok**, észrevételek.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

I. téziscsoport – várható hatások

1. tézis – várható hatás az élőhelyekre

Rámutattam, hogy a klímamax és szubklímamax élőhelyek többségének **potenciális elterjedését a klímaváltozás** valamilyen módon **befolyásolni fogja**, és az eredmények nagyrészt megegyeznek az ökológiai megfontolásokkal. A **fás élőhelyek** jelentős részére az éghajlatváltozás várhatóan kedvezőtlenül hat majd a jövőben, míg a gyepek és egyéb **fátlan élőhelyek** egy részét a predikciók szerint kedvezően érinti. A fás élőhelyek közül elsősorban a **zonális hegységi erdők** esetén jeleznek a modellek negatív hatást, míg a gyepek közül a **szikések**, a **nádasok**, illetve a **lőszgyepek és egyéb kötött talajú sztyepprétek** esetén mutatnak nagyobb pozitív változást. Az éghajlatváltozás a felszíni **vízhez kötődő élőhelyek** többségére nem fejt ki jelentősebb hatást.

2. tézis – várható hatás a dísznövényekre

Bemutattam, hogy a vizsgálatba vont 31 dísznövény egy részének potenciális **telepíthetőségét az éghajlatváltozás** egyértelműen kedvezően **fogja érinteni**, másokét pedig éppen kedvezőtlen módon, és e megállapításokat a szakirodalom segítségével alátámasztottam.

II. téziscsoport – modellek megbízhatósága

3. tézis – élőhelymodellek és -predikciók megbízhatósága

Megállapítottam, hogy az **élőhelymodellek és -predikciók** a feltárt hiányosságok és gyengeségek ismerete mellett **megbízhatóak**, a változószelekció és az eredménytérképek az ökológiai megfontolásokkal és a szakirodalommal **összhangban állnak**. Mindezek alapján rámutattam, hogy a **telepíthetőségi modellek jó alapját képezik** az élőhelymodellek.

4. tézis – élőhely-dísznövény mátrix megbízhatósága

Megállapítottam, hogy az élőhely-dísznövény mátrix oszlopaira (**élőhelyekre**) elvégzett **klaszteranalízis** a vizsgált dísznövénytaxonok telepíthetősége szempontjából igen hasonló módon csoportosítja az élőhelyeket, mint ahogy azt az élőhelyek **termőhelyi jellemzője alapján** várnánk. Rámutattam továbbá, hogy a mátrix soraira (**dísznövényekre**) készített klaszterelemzés eredménye is nagyrészt **összecseng a szakirodalom megállapításaival**.

III. téziscsoport – modellezési keretrendszer

5. tézis – élőhely-dísznövény mátrix mint a potenciális telepíthetőség modellezésének eszköze

Bemutattam, hogy az **élőhely-dísznövény mátrix megfelelő eszköze** lehet annak, hogy dísznövények potenciális telepíthetőségi területét **tanító telepíthetőségi adatok nélkül is modellezhessük**, azáltal, hogy élőhelyek potenciális elterjedéséhez kapcsolja a dísznövények potenciális telepíthetőségét. Megállapítottam, hogy a javasolt telepíthetőségite-
rület-**modellezési keretrendszer alkalmas** arra, hogy dísznövény-taxonok potenciális **telepíthetőségi valóságát megbecsülje**.

6. tézis – telepíthetőség becslése és térképes kiértékelése

Bemutattam a potenciális telepíthetőségi terület becslésének két módszerét (**mátrixátlag alapú** és **ensemble-módszer**), továbbá két olyan vizualizációs technikát (**ensemble-becslés bizonytalansága** és a **kiválasztott élőhely megjelenítése**), amelyek a modelleredmények térképes kiértékelését segítik.

7. tézis – potenciális telepíthetőségi térkép

Megállapítottam, hogy a potenciális **telepíthetőségi térképek**, ha az előállító modell hibáit kellően feltárjuk és megfelelően kommunikáljuk, **alkalmasak** arra, hogy dísnövények potenciális telepíthetőségének valószínűségi becslését **térben megjelenítsék**, és az **éghajlatváltozás** e taxonok telepíthetőségére **várhatóan kifejtett hatását** a dendrológusok, tájépítészek, dísnövény-alkalmazók részére **bemutassák**.

8. tézis – modellezési módszer tájépítészeti alkalmazása

Összességében rámutattam, hogy a **prediktív ökológiai modellezés** olyan technika, melynek eszköztárát és eredményeit **nem csak az ökológia**, valamint nem csak a **regionális léptékű tájtervezés**, hanem a **kert- és szabadtértervezés**, a kertépítészeti dendrológia is hasznosíthatja.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A doktori értekezésben ökológiai és tájépítészeti következtéseimet, valamint kutatási és tájépítészeti javaslataimat megfogalmaztam, melyek közül a legfontosabbakat az alábbiakban foglalom össze:

- eredményeim azt sejtetik, hogy hazánkban a **zárt erdők fenntartása** nehézségekbe ütközhet a jövőben, és az **erdőssztyep zóna** nyíltabb élőhelyei lesznek fenntarthatóbbak;
- nagyon fontosnak tartom, hogy Magyarország jövőbeli kedvező ökológiai állapotának elérésében az erdőgazdálkodói szempontokon túl az **ökológiai szemlélet** is kellő súllyal érvényesülhessen, amelyhez **keretet a tájépítészeti interdiszciplína adhat**;
- túlzott optimizmus lenne eredményeimből azt a következtetést levonni, hogy a kutatásba vont élőhelyek (és esetleg néhány kutatásba be nem vont, jelenleg tőlünk délebbre található élőhely) elvben hézagmentesen képes lesz Magyarország egészét kitölteni. Feltehetjük, hogy bizonyos, korábbról nem ismert (nem létező) termőhelyeken olyan **élőhelyek alakulnak ki**, amelyekről ma még nincs elképzelésünk;
- a modelleredmények azt sejtetik, hogy a jelenleg is özönnövényként számontartott *Ulmus pumila* var. *arborea* **inváziós hajlama** a jövőben jelentős mértékben megnövekedhet. Nem zárhatjuk ki néhány olyan vizsgálatba vont taxon **özönnövényvé válását** sem, melyeknek ma még hazánkban nem invazivak vagy meghonosodottak;
- predikcióimat alapadatként felhasználva kiszámítható a **sérülékenység/veszélyeztettség**, amely révén a természetvédelmi

- konzervációbiológia** hasznos támpontot kaphat arról, hogy mit hol lehet, érdemes, illetve gazdaságos védeni, megőrizni;
- eredményeim felhívják a figyelmet arra, hogy egyes dísznövények a jövőben kedvezőbbnek találhatják hazánk egyes részein a környezeti tényezőket, így telepítésük nagyobb biztonsággal, **fenntartásuk kevesebb költséggel jár** majd;
 - az éghajlatváltozás jelentős hatást gyakorolhat a hazai dísznövény-alkalmazásra. A változásoknak mind **kert- és szabadtér-építészeti**, mind **térségi tervezési vonatkozásai** lehetnek, továbbá a dísznövények telepítésére és fenntartására nézve egyaránt következményekkel bírnak;
 - eredményeimből nem csak a kutatásba bevont dísznövénytaxonok, hanem a velük hasonló ökológiai igényekkel bíró **további dísznövények telepíthetőségi területére** nézve is levonhatunk következtetéseket;
 - az **élőhely-dísznövény mátrix** azon túl, hogy a modellezési keretrendszer központi eleme, a modellezéstől függetlenül is hasznos következtetések levonására ad lehetőséget. Elemzésével megállapíthatjuk, hogy – a szakértők szerint – melyik dísznövények milyen jellegű élőhelyek potenciális elterjedési területén telepíthetőek, mely által e taxonok **ökológiai igényeinek** egy **újfajta leírását** kapjuk. És bár e környezetiigény-jellemzés nem feltétlen részletesebb, de nem is közvetettebb, mint a hagyományos, az egyes környezeti tényezőket sorra vevő megközelítés;
 - a modellezési keretrendszer – megfelelő átalakítás után – alkalmas lehet az invazív hajlamú dísznövénytaxonok által **potenciálisan előzönlött terület** modellezésére;
 - minden olyan nagyobb léptékű **tájépítészeti terv** vagy döntés, amely a természetes vegetációt vagy a természeti potenciált befolyásolja, támaszkodhat az élőhelyek potenciális elterjedését bemutató eredménytérképekre a felelős döntés meghozatalakor. A legkézenfekvőbb példák erre az **ökológiahálózat- vagy zöldinfrastruktúra-tervezéshez** kapcsolódó munkák, de ennél

sokkalta általánosabb jellegű **tájértékelési, illetve táj- és területtervezési munkák** is többféle módon felhasználhatják a disszertációban bemutatott predikciókat. Ennek jelentősége különösen megnő, ha restaurációs vagy természetvédelmi beavatkozásokat kísér vagy szervez átfogó tájépítészeti fejlesztés;

- az eddiginél nagyobb figyelmet érdemes szentelni a **dísznövénytaxonok invazív hajlamára**, mert a megváltozott éghajlati környezet olyan niche-eket nyithat meg, amelyeket féltő, hogy egzóta dísznövények fognak hamarabb feltölteni, mint a honos fajok, amely hosszú távon hazánk ökológiai állapotának jelentős és visszafordíthatatlan leromlásához vezethet;
- a jövőben várhatóan a **tájépítészetnek sokkal nagyobb szerepet kell kapnia** az épített emberi környezet kialakításában, mert az éghajlatváltozás hatására a növényzet és a települési zöldinfrastruktúra szerepe az **élhetőség** és megfelelő **szabadtéri komfort** kialakításában jelentősen megnő.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Impact factoros folyóiratcikkek

Bede-Fazekas Á (2012): Methods of modeling the future shift of the so called Moesz-line. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(2): 141–156.

Bede-Fazekas Á, Horváth L, Kocsis M (2014): Impact of climate change on the potential distribution of Mediterranean pines. *Időjárás* 118(1): 41–52.

Bede-Fazekas Á, Horváth L, Trájer AJ, Gregorics T (2015): An ArcGIS Tool for Modeling the Climate Envelope with Feed-Forward ANN. *Applied Artificial Intelligence* 29(3): 233–242.

Trájer A, Hammer T, Bede-Fazekas Á, Schoffhauzer J, Padisák J (2016): The comparison of the potential effect of climate change on the segment growth of *Fraxinus ornus*, *Pinus nigra* and *Ailanthus altissima* on shallow, calcareous soils. *Applied Ecology and Environmental Research* 14(3): 161–182.

Egyéb tudományos folyóiratcikkek

Bede-Fazekas Á (2011): Impression of the global climate change on the ornamental plant usage in Hungary. *Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment* 3(Suppl.): 210–220.

- Szabó K, Bede-Fazekas Á (2012): A forgalomban lévő fásszárú dísznövénytaxonok szárazságtűrésének értékelése a klímaváltozás tükrében. *Kertgazdaság* 44(4): 62–73.
- Bede-Fazekas Á (2013): Negative impact of climate change on the distribution of some conifers. *Hadtudomány* 23(Suppl.): 234–243.
- Balogh PI, Bede-Fazekas Á, Dezsényi P (2013): Ökológikus növényalkalmazás és biodiverz zöldtető kialakítása a budapesti Green House irodaház tetőkertjénél/ Ecological plant application and bio-diverse green roof in the landscape architectural concept of the Green House office building in Budapest. *4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat* 8(2): 2–23.
- Bede-Fazekas Á (2013): Modeling the Impacts of Climate Change on Phytogeographical Units. A Case Study of the Moesz Line. *Journal of Environmental Geography* 6(1-2): 21–27.
- Bede-Fazekas Á, Somodi I (2013): Mészkerülő lombelegyes fenyevesek mint éghajlatérzékeny élőhelyek kertépítészeti stilizálása/ Stylization of climate sensitive acidofrequent coniferous forests. *4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat* 8(3): 54–71.
- Trájer A, Bede-Fazekas Á, Hammer T, Padisák J (2015): Modelling the growth of young individuals of *Pinus nigra* on thin carbonate soils under climate change in Hungary. *Acta Botanica Hungarica* 57(3–4): 419–442.
- Bede-Fazekas Á, Trásy K, Csóka Gy (2015): Nyárültetvények őszi lombszíneződésének vizsgálata három MODIS-színcsatorna alapján. *Remote Sensing Technologies and GIS Online* 5(1): 417–425.
- Bede-Fazekas Á, Somodi I (2015): Stylization: a method for preserving the character of climate sensitive habitats. A case study of acidofrequent mixed forests. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63(5): 1453–1458.

Ismeretterjesztő folyóiratcikkek

- Bede-Fazekas Á (2010): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 1.: Jegenyefenyők. Szép Kertek 12(2): 12-13.
- Bede-Fazekas Á (2010): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 2.: Észak-amerikai ciprusok. Szép Kertek 12(5): 16-17.
- Bede-Fazekas Á (2011): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 3.: Óvilági tölgyek. Szép Kertek 13(2): 12-13.
- Bede-Fazekas Á (2011): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 4.: Amerikai ikertűs fenyők. Szép Kertek 13(4): 14-15.
- Bede-Fazekas Á (2011): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 5.: Borókák. Szép Kertek 13(5): 16-17.
- Bede-Fazekas Á (2012): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 6.: Távol-keleti ikertűs fenyők. Szép Kertek 14(1): 10-11.
- Bede-Fazekas Á (2012): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 7.: Ikertűs fenyők a Mediterráneumból. Szép Kertek 14(2): 8-9.)
- Bede-Fazekas Á (2012): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 10.: Nagymagvűtiszfák. Szép Kertek 14(5): 10-11.
- Bede-Fazekas Á (2013): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 11.: Ázsiai ciprusok. Szép Kertek 15(1): 10-11.
- Bede-Fazekas Á (2013): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 12.: Fagyalok. Szép Kertek 15(2): 12-13.
- Bede-Fazekas Á (2013): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 13.: Babérmeggyek és rokonaik. Szép Kertek 15(3): 8-9.
- Bede-Fazekas Á (2013): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 14.: Újvilági tölgyek. Szép Kertek 15(4) 8-9.
- Bede-Fazekas Á (2013): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 15.: Juharok. Szép Kertek 15(5): 10-12.
- Bede-Fazekas Á (2013): Klímaváltozás, tájépítészet és díszfák: Új dísznövények a Mediterráneumból? Élet és Tudomány 68(31): 966–968.
- Bede-Fazekas Á (2014): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 16.: Hópehelyfák. Szép Kertek 16(1): 18-19.

- Bede-Fazekas Á (2014): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 17.:
Bengék. Szép Kertek 16(3): 8-9.
- Bede-Fazekas Á (2014): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 18.:
Amerikai galagonyák. Szép Kertek 16(4): 8-9.
- Bede-Fazekas Á (2014): Növényalkalmazás a klímaváltozás idején 19.:
Eurázsiai galagonyák. Szép Kertek 16(5): 10-11.
- Bede-Fazekas Á (2015): Klímaváltozás és éghajlatérzékeny élőhelyek:
Az elvesző formakincs nyomában. Élet és Tudomány 70(21): 646–
648.
- Lepesi N, Bede-Fazekas Á, Czúcz B, Somodi I (2015): Magyarország
élőhelyei alkalmazkodóképességének vizsgálata a NATÉR számára.
Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer - Hírlevél 1(2): 6.
- Bede-Fazekas Á, Somodi I, Lepesi N, Czúcz B (2016): Természetközeli
élőhelyek klímaérzékenységének modellezése. Nemzeti
Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer - Hírlevél 2(1–2): 7–8.

Konferenciakiadványban megjelent publikációk

- Bede-Fazekas Á (2011): Correlations between garden design plant
applications and climate change. In: Palocz-Andresen M, Németh R,
Szalay D (szerk.): TÁMOP-Humboldt College for Environmental and
Climate Protection. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó.
- Bede-Fazekas Á (2011): Kertépítészeti növényalkalmazás kihívásai a
klímaváltozás tükrében. In: Ferencz Á (szerk.): "Válságkezelés a
tudomány eszközeivel" Erdei Ferenc 6. tudományos konferencia.
Kecskemét: Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar.
- Bede-Fazekas Á (2012): A klímaváltozás hatásának modellezése
növényföldrajzi egységeken a mesterséges neuronháló segítségével.
In: Nyári D (szerk.): Kockázat - Konfliktus - Kihívás: A VI. Magyar
Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a
Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának
Tanulmánykötete. Szeged: SZTE TTK Természeti Földrajzi és
Geoinformatikai Tanszék.

- Gerzson L, Szabó K, Bede-Fazekas Á (2012): Újszerű növényalkalmazási lehetőségek épített környezetben. Dendrológiai kutatások a Kert- és Szabadtértervezési Tanszéken (2008–2011). In: Szenteleki Károly, Szilágyi K (szerk.): Fenntartható fejlődés, Élhető régió, Élhető települési táj. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem.
- Bede-Fazekas Á (2012): A Moesz-vonal jövőben várható elmozdulásának térinformatikai modellezési lehetőségei. In: Lóki J (szerk.): Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. - Térinformatikai konferencia és szakkiállítás. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó.
- Bede-Fazekas Á (2013): A klímaváltozás növényföldrajzi hatásának modellezése és a mesterséges neuronháló. In: Konkoly-Gyuró É, Tirázi Á, Nagy GM (szerk.): Tájé tudomány - Tájtervezés. V. Magyar Tájökológiai Konferencia: Konferencia kiadvány. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó.
- Bede-Fazekas Á (2013). Modeling the future distribution of Mediterranean Pinus species. In: Neményi M, Varga L, Facskó F, Lőrincz I (szerk.): "Science for Sustainability" International Scientific Conference for PhD Students. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó.
- Bede-Fazekas Á, Trásy K, Csóka Gy (2015): Changing visual value of deciduous species in the climate change. In: Wolf J, Nečasová J, Nečas T (szerk.): Proceedings of the international conference "Horticulture in quality and culture of life". Lednice, Csehország: Faculty of Horticulture in Lednice.
- Bede-Fazekas Á (2015): Stylization: a method for preserving the character of climate sensitive habitats. In: Wolf J, Nečasová J, Nečas T (szerk.): Proceedings of the international conference "Horticulture in quality and culture of life". Lednice, Csehország: Faculty of Horticulture in Lednice.

Szakedolgozat, diplomamunka

- Bede-Fazekas Á (2009): Fagyérzékeny növénytaxonok alkalmazási lehetőségei a tájépítészetben. Szakedolgozat. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési Tanszék.
- Bede-Fazekas Á (2012): Melegigényes díszfák telepíthetőségi területének előrejelzése a 21. századra. Diplomamunka. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési Tanszék.
- Bede-Fazekas Á (2013): Mediterrán növények éghajlati igényeinek közelítése mesterséges intelligencia módszereivel. Szakedolgozat. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar.

Könyv, könyvrészlet, kutatási jelentés

- Bede-Fazekas Á (2012): Klímaváltozás a XXI. században: Az alkalmazkodás tájépítészeti eszközei. In: Kun A, Rév Sz (szerk.): Környezettudatosság a mindennapokban: Éghajlatváltozás és gazdálkodás. Somogyvámos: Öko-Völgy Alapítvány.
- Bede-Fazekas Á, Sántha E, Bubics B, Kubik EF, Kenyeres D, Kocsis K, Major I, Tihanyi B, Somodi I (2016): Útmutató élőhelyek kertépítészeti stilizálásához. Tihany: MTA Ökológiai Kutatóközpont.
- Somodi I, Bede-Fazekas Á, Lepesi N, Czúcz B (2016): Természetes ökoszisztémák éghajlati sérülékenységének elemzése: Kutatási jelentés. Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- Somodi I, Bede-Fazekas Á, Lepesi N, Czúcz B (2016): A klímaváltozás hatása a természetes élőhelyekre. In: Pálvölgyi T, Selmeczi P (szerk.): Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás: A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.

ÖSSZES PUBLIKÁCIÓ

A doktorjelölt 23 tudományos folyóiratcikket írt, melyből 13 cikk impact factoros folyóiratban jelent meg. 4 könyv vagy könyvrészlet szerzője vagy szerkesztője, továbbá 19 konferenciaközlemény és 20 absztrakt alkotója. 26 idézője közül 9 független. Összes tudományos publikációja elérhető az alábbi hivatkozással:
vm.mtmt.hu/search/slist.php?AuthorID=10029831

