



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Doktori Iskola

A POTENCIÁLIS MÉZHOZAM, MINT ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANI ÁTTEKINTÉSE ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

Doktori (PhD) értekezés tézisei

ARANY ILDIKÓ

Gödöllő
2024

A doktori iskola megnevezése:	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola
Tudományága	Környezettudomány
Vezetője:	Dr. Csákiné Dr. Michéli Erika, DSc Egyetemi tanár, az MTA levelező tagja Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék
Témavezetők:	Tormáné Dr. Kovács Eszter, PhD Egyetemi tanár Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet, Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék Dr. Báldi András, DSc Tudományos tanácsadó, az MTA levelező tagja Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

1. A kutatás előzményei

Ökoszisztéma-szolgáltatások (ÖSZ) alatt mindazokat a javakat és szolgáltatásokat értjük, amelyek az ökológiai rendszerek természetes vagy ember által befolyásolt működése során keletkeznek, és hozzájárulnak a társadalom, s benne az egyén jóllétének fenntartásához és növeléséhez. A téma az utóbbi évtizedek egyik legdinamikusabban fejlődő koncepciója az ökológiai és természetvédelmi közösségekben, tudományos, szakpolitikai és gyakorlati természetvédelmi oldalról egyaránt. Az ÖSZ koncepciót keretbe foglaló koncepcionális modellek egyike az ún. kaszkád modell, amely a szolgáltatások áramlását az ökoszisztémáktól a társadalom felé több, jól definiált lépcsőfokon keresztül értelmezi. A kaszkád első szintje az ökoszisztémák szerkezetét és állapotát jellemzi, amely alapfeltétele az ökoszisztéma-szolgáltatások nyújtására való képességüknek. Ezt követi a potenciális ÖSZ vagy más néven ÖSZ kapacitás (2. kaszkádszint), amelyet az adott ÖSZ hipotetikus maximális hozamaként értelmezünk, feltételezve a fenntartható használatot. A potenciális szolgáltatások egy része megvalósul, vagyis a társadalom ténylegesen használja, igénybe veszi azt. Ez a kaszkád harmadik szintje (valós használat). A kaszkád 4. szintje az emberi jóllét dimenzióiban megvalósult hasznosulás.

Az ÖSZ-ek rendszerezésére több párhuzamos javaslat született a szakirodalomban, ezek mindegyike megkülönbözteti az ellátó, kulturális és szabályozó szolgáltatásokat. Az ökoszisztéma-szolgáltatás, lényegéből adódóan két diszciplína irányából közelíthető meg: a természettudományok és a társadalomtudományok felől. Éppen ezért egyre gyakoribb a két tudományterületet integráló megközelítés, aminek során a klasszikus biofizikai értékelés mellett az egyéni és társadalmi hasznok és jóllét mérésére alkalmas társadalomtudományos mutatók is megjelennek, és a szolgáltatások felmérése részben helyi szakértők és érintettek bevonásával, részvételi módon történik.

A vadméh-fajok mellett az európai mézelő méh, vagy más néven házimé (*Apis mellifera* L.) kulcsfontosságú számos ÖSZ közvetítésében. Ezek egyike a szabályozó ÖSZ-ek közé tartozó pollináció vagy beporzás, amely világszerte az egyik legtöbbet vizsgált ÖSZ. A házimé különösen a nagyüzemi termesztésű növények beporzásához nélkülözhetetlen. A házimé és az ember kapcsolata azonban jóval régebbi a modern mezőgazdaságban nyújtott beporzásnál. A méhek végigkísérték az embert a történelem során, és ezalatt az ÖSZ-ek második nagy csoportjához, a kulturális szolgáltatások köréhez is kapcsolódtak több különböző módon, például vallási vagy kulturális szimbólumok szerepében. Ma is fontos esztétikai, rekreációs és tudományos értékeket képviselnek. A méhek által

nyújtott legközvetlenebb hasznok az ellátó ÖSZ-ekhez – méz és egyéb méhészeti termékek, pl. propolisz, virágor, viasz, méhpempő – kötődnek.

A mézet a méhek a vadon élő és a termesztett növények virágai, vagy (ritkábban) vegetatív szervei által termelt, cukorban gazdag folyadékból – a nektárból – vagy rovarok (általában levéltetvek) cukros váladékából – a mézharmatból – készítik. Ezeket a forrásokat a dolgozó méhek rendszeresen látogatják, és a nektárt mézhólyagjukban (begyükben) begyűjtik, majd a kaptárban mézzé érlelik. Egy adott tájban – egy méhlegelőn – termelhető méz mennyiségét alapvetően a jelen lévő nektárforrások minősége és mennyisége, azt pedig a (természetes vagy mesterséges) növényközösség összetétele határozza meg. A nektártermelés térbeli változatosságát számos földrajzi, éghajlati és ökológiai jellemző befolyásolja, míg az időbeli változatosságot alapvetően a növények fenológiai mintázatai határozzák meg, amelyeket nagymértékben befolyásolnak az aktuális időjárás-változások, és ezzel összefüggésben az egyes növényfajok virágzásának sikeressége és időtartama. A méz mennyiségének maximalizálása rövidtávon olyan méhlegelőkön érhető el, amelyek egyetlen vagy néhány mézelő faj homogén, egy időben és tömegesen virágzó állományainak adnak otthont, mivel ezek a virágzás csúcsidőszakában rövid idő alatt nagy mennyiségű méztermést tesznek lehetővé. Ugyanezek az élőhelyek azonban a hordási időszakon kívül gyakran jellemző a pollenhiány és az alacsony nektárkínálat. Minél stabilabb és kiegyenlítettebb – más szóval minél tartamosabb – egy méhlegelő kínálata, annál kevésbé kényszerülnek a méhek arra, hogy már a vegetációs időszakban feléljék tartalékaikat. A folyamatos és változatos virágkínálat elengedhetetlen a méhcsaládok egészségének megőrzéséhez is.

Magyarország és Románia európai viszonylatban is jelentős méztermelő. 2019-ben Románia piaci részesedése az EU teljes méztermeléséből 11,07%, Magyarorszáé 10,35% volt. A méhészeti ágazat e két országban jelentős növekedésen ment keresztül az elmúlt évtizedekben. A növekedés egyik oka, hogy a méhlegelők az elmúlt 50 évben jelentős változáson mentek keresztül. Míg az 1950-es évek előtt a hazai és a romániai méhészek többségében vegyes virágmézet pergettek, mára mindkét országban a termelt méz legnagyobb részét az akác és szántóföldi termények (elsősorban napraforgó és repce) adják, amelyek nagy mennyiségű hordást tesznek lehetővé. Ugyanakkor ezzel párhuzamosan az élőhelyek és vadvirágok sokfélesége, és ezen belül a mezőgazdasági gyomnövények sokfélesége csökkent. Helyüket újonnan megtelepedett és terjedő inváziós növényfajok vették át, mint amilyen a selyemkóró (*Asclepias syriaca*) és a kanadai aranyvessző (*Solidago canadensis*). A viszonylag egyhangú – és ennek

következtében szuboptimális – táplálkozás, valamint a növényvédő szereknek való fokozott kitettség a méhek nagyobb sebezhetőségét hozta magával a paraziták és kórokozók szemben. A mai méhésznek számos új betegséggel és környezeti ártalommal kell szembenéznie.

A méhészek körében generációk sora óta felhalmozódott nagy mennyiségű hagyományos és gyakorlati, komplex tudás áll rendelkezésre a méztermelésről, valamint az ahhoz szükséges erőforrásokról, a méhlegelőkről. A mézzel, mint ÖSZ-szel kapcsolatos ismeretek ennek ellenére alulreprezentáltak az ÖSZ szakirodalomban, mind más ellátó szolgáltatásokhoz, mind a méhek által nyújtott másik fontos szolgáltatáshoz, a pollinációhoz képest.

2. Célkitűzések

Kutatásomnak két fő célkitűzése volt: (1) a potenciális mézhozam értékeléséhez használt modellek és módszertani megközelítések áttekintése, a meglévő tudományos ismeretek rendszerezése, valamint (2) a modellfejlesztés folyamatának gyakorlati alkalmazása. Reményeim szerint e célok teljesítésével hozzájárulhatok az ÖSZ-ekkel kapcsolatos tudományos, és a méhészetrel kapcsolatos gyakorlati, tapasztalati tudásformák integrálásához. A dolgozatnak ennek megfelelően két fő része van:

1. Az első részben bemutatom a témában végzett szisztematikus szakirodalmi elemzés (systematic review), azon belül kritikai értelmező szintézis (critical interpretive synthesis) eredményeit. Ennek keretében részletes áttekintést nyújtok arról, hogy milyen megközelítések, illetve alkalmazott modellek vannak jelen a tudományos szakirodalomban az ökoszisztémák potenciális mézhozamának értékelésére és számszerűsítésére. A szisztematikus szakirodalmi áttekintés a következő kérdésekre keres választ:
 - Milyen modelleket és módszertanokat használnak a szerzők az egyes mintaterületek, tájak vagy régiók potenciális mézhozamának feltérképezésére vagy értékelésére?
 - Hogyan befolyásolja a módszertani döntéseket az információk (bemeneti adatok) rendelkezésre állása?
 - Hogyan befolyásolják a módszertani döntések a modellek kimeneti eredményeit (az így kapott indikátort)?
 - Hogyan azonosítják és kezelik a különböző megközelítések a bizonytalanságokat?

2. A második részben a potenciális mézhozam értékelésére szolgáló ÖSZ-modell fejlesztés egy meghatározott módszertanát alkalmazom két mintaterületen: a Kiskunsági Homokhátságon és a Nyárad- és Kis-Küküllő mentén. Bemutatom az értékelés és térképezés folyamatát és eredményeit, valamint értelmezem és összehasonlítom az eredményeket a szisztematikus szakirodalmi elemzés tükrében. Munkám során a következő kutatási kérdésekre kerestem választ:
- Hogyan lehet a helyi szakértői (méhész) tudást az ÖSZ tudomány nyelvén és keretei között megragadni?
 - Milyen modellekkel lehet a két régió potenciális mézhozamát értékelni? Miben hasonlít, és miben különbözik a két modell?
 - Mik a mintaterületek és a tágabb régió (Közép-Kelet-Európa) ökoszisztémái által nyújtott lehetőségek és kihívások a méhészet számára? Milyen potenciális földhasználati konfliktusok merülnek fel a méhészettel kapcsolatosan a mintaterületeken?
 - Hogyan lehet a kritikai értelmező szintézis során feltárt bizonytalanságokat kezelni egy regionális részvételi értékelés során?
 - Mik azok a kulcsfontosságú tényezők, amelyek a méhészet hosszú távú fenntarthatóságát biztosíthatják a mintaterületeken és a tágabb régióban?

3. Anyag és módszer

Az értekezés két empirikus vizsgálat eredményeit mutatja be. Az első részben a szisztematikus szakirodalmi áttekintés egy módszere, az ún. kritikai értelmező szintézis (Critical Interpretive Synthesis) segítségével elemeztem a potenciális mézhozam tudományos szakirodalomban publikált értékeléseit. Ehhez első lépés a következőkkel jellemezhető publikációk összegyűjtése, áttekintése és elemzése volt: egy konkrét (lokális, régiós vagy nagyobb léptékű) esettanulmányi helyszínen, jól dokumentált módszertani modellt követve, ismert bemeneti adatok felhasználásával olyan indikátort fejlesztettek, amely jellemzi az adott terület potenciális mézhozamát. A kiválasztott tanulmányoknak vagy kifejezetten az európai mézelő méhre vonatkozó indikátort kellett kidolgoznia, vagy a beporzók olyan csoportjára, amely a mézelő méheket is magában foglalja. A tanulmányoknak emellett az általuk fejlesztett indikátort térbeli predikciók készítésére kellett használniuk. A publikációk leválogatását a Scopus, valamint a Web of Science tudományos adatbázisaiból végeztem, összetett keresőkifejezésekkel. A találatot egy kétlépéses szűrési folyamatnak vetettem alá, a fenti szempontok alapján felállított kritériumok szerint. A szűrés

eredményeképpen kapott cikkek mindegyikében egyetlen indikátort azonosítottam: azt, amely az ökoszisztéma-szolgáltatások módszertanának megfelelően a legszorosabb értelemben jellemzi a potenciális mézhozamot. Ezek az indikátorok, illetve az ezek alapjául szolgáló modellek lett a további elemzés tárgyai. A potenciális mézhozam indikátorok tulajdonságait egy adatbázisban összesítettem meghatározott kérdések (változók) alapján. E kérdések célja a modellezési megközelítések jellemzése volt aszerint, hogy miként kezelik a potenciális mézhozam-értékelés különböző módszertani kérdéseit. Az adatbázis alapú áttekintést egy szintézis követte, amelyben a tanulmányok különböző módszertani kihívásokra adott megoldásainak azonosítását, valamint az általuk alkalmazott módszertani modellek típusokba történő besorolását tűztem ki célul. A szintézis eredményeképpen azonosított modelltípusok a szakirodalmi elemzés fő eredményeinek tekinthetők.

A második részben bemutatom a potenciális mézhozam értékelésének folyamatát és eredményeit a gyakorlatban. Az értékelést két regionális mintaterületen végeztem, a kiskunsági Homokhátságon és az erdélyi Nyárád- és Kis-Küküllő Mentén. Mindkét esettanulmány természetvédelmi oltalom alatt álló vidéki területeken zajlott, ahol a mezőgazdaság (legeltető állattartás, kis kiterjedésű szántóföldek, szőlő- és gyümölcsöskertek) és az erdőgazdálkodás a meghatározó földhasználati típus. A Homokhátság felmérésének háttérét az OpenNESS nevű, EU FP7 programban finanszírozott projekt adta, míg a Nyárád- és Kis-Küküllő Menté felmérésének háttérét a Niraj-MAES projekt, az EEA Grant és a román kormány társfinanszírozásában. Mindkét projekt során az Ökológiai Kutatóközpont munkatársaival közösen dolgoztuk ki és a projektpartnerek segítségével valósítottuk meg a felmérést.

Mindkét területen szabályalapú mátrixmodellt fejlesztettünk helyi szakértők bevonásával, szakértői műhelymunkára alapozva, egynapos műhelymunka keretében. A bevont méhészek több évtizedes terepi tapasztalattal rendelkeztek az adott területeken folytatott méhészkedés terén. Az ökoszisztéma-szolgáltatási mátrix a térbeli proxy-módszerek egy speciális típusa, amely az ökoszisztéma-szolgáltatást nyújtó egységeket (ökoszisztéma típusokat, ÖT) összekapcsolja az ökoszisztéma-szolgáltatásokkal. A modell térbeli bemenete a vizsgált terület ökoszisztéma-térképe. Maga a modell nem több, mint egy egyszerű keresőtábla ("mátrix"), amely az egyes térbeli (ÖT) kategóriákhoz hozzárendeli a kiválasztott ÖSZ-ek indikátor-értékeit. Felmérésünkben a szakértők az egyes ÖT-k potenciális mézhozamát egy relatív skálán (1-10 között) pontozták.

A szabályalapú mátrixmodellek az egyszerű mátrixmodellek kiterjesztését

jelentik. További releváns térbeli bemeneti adatok azonosításával, és a térképszámítási műveletekbe való bevonásával a mátrixmodellből származó durva térképek nagymértékben finomíthatók. Ennek érdekében a szakértőket arra kértem, hogy sorolják fel ezeket a tényezőket, és fogalmazzák meg, hogyan és milyen mértékben befolyásolják a különböző ökoszisztémák potenciális mézhozamát. A munka következő fázisa a műhelymunkán kapott információk utólagos feldolgozása volt, annak érdekében, hogy létrejöhessenek a szabályalapú modellek és az ezek alapján készült térképek. Ahhoz, hogy a kiválasztott további környezeti változókat be lehessen építeni az ÖSZ-modellekbe, meg kellett fogalmazni azokat a szabályokat, amelyek mentén ezek a változók módosítják az egyes ÖT-k potenciális mézhozamát. A szabályok megalkotásának általános módja, ha az adott változó lehetséges értékeihez kategóriákat vagy (folytonos változó esetében) értéktartományokat definiálunk, és ezt követően meghatározzuk az egyes kategóriákra vagy tartományokra vonatkozó algoritmusokat. Ezek egyszerű, additív vagy multiplikatív képletek, amelyek módosítják az ökoszisztéma térkép adott változó által érintett rácspontjainak a "mátrixpontszámát" (az ott előforduló ÖT pontszámát). A számításokhoz szükséges adatforrások felkutatásában és az adatmanipulációkban nagy segítségemre voltak az ÖK és Milvus Csoport térinformatikusai. A szabályok alkalmazása után kapott módosított értékeket térképen ábrázoltuk, és egy szakértői validálást követően készültek el a végleges ÖSZ térképek.

4. Eredmények

Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalmi áttekintés fő célja az volt, hogy megragadja a potenciális mézhozam számszerűsítésére fejlesztett modellek sokféleségét. A szűrés eredményeképpen kapott 16 tanulmány részletes áttekintése segített felvázolni a jellemző modellsémákat, valamint feltárni a bemeneti adatok, térbeli és időbeli változók megközelítésének sokféleségét. A kritikai értelmező szintézis során három fő modell típust azonosítottam:

1. A **szabályalapú mátrixmodellek** olyan GIS-munkafolyamatot alkalmaznak, amely alapvetően két különböző adattípust kombinál. Ezek egyike egy térbeli adatállomány, amely a földrajzi teret releváns ökológiai kategóriákba (pl. ökoszisztéma típusok, vagy egyéb, térben kifejezett változók) sorolja. A modell másik (nem térbeli) bemeneti adattípusa a potenciális mézhozam valamilyen mérőszáma. Ez lehet szakértői

pontozáson alapuló értékelés, vagy a nektártermelés valamilyen biofizikai mértékegységben becsült értéke. A modell fejlesztése során a potenciális mézhozam értékeket a térbeli kategóriákhoz rendelik. Ezt az értéket különböző, meghatározott szabályok mentén tovább lehet finomítani a nektártermelést befolyásoló termőhelyi, éghajlati, domborzati vagy földhasználatot jellemző térbeli adatokkal, amelyekkel az ÖT térképet metszik, így előállítva a kiterjesztett ÖT térképet. A modell kimenete a vizsgálati területet lefedő, potenciális mézhozamra vonatkozó “kínálati térkép”, amely megmutatja, hogy az egyes térbeli egységek (“pixelek”) mennyi táplálékot nyújthatnak a mézelő méhek számára. A cikkek speciális csoportját a többkritériumos döntéselemzés (Multicriteria Decision Analysis, MCDA) technikái jellemzik. Itt egy GIS-rendszerben számos, potenciálisan releváns térbeli változó térképeit gyűjtik össze, amelyeket aztán a szakértők (méhészek) javaslatai alapján súlyoznak, jellemzően egy analitikus hierarchikus folyamat során (Analytical Hierarchy Process, AHP).

2. **A bővített szabályalapú modellek** az egyszerű szabályalapú modellek továbbfejlesztett változatai, azokhoz képest koncepciónálisan eltérő eredményt adnak. A továbbfejlesztés ebben az esetben azt jelenti, hogy a modellek a méhek táplálékgyűjtési területét (röpkörzetét) is figyelembe veszik, mégpedig úgy, hogy a röpkörzetet szimuláló lépést beillesztik a GIS-munkafolyamatba (pl. mozgó ablak műveletként). Ez a fajta modell tehát alapvetően egy hipotetikus méhcsalád szemszögéből értékeli a tájat: azt számszerűsíti, hogy a méhcsalád számára adott telephelyen mennyi erőforrás elérhető. Minden egyes képpontot hipotetikus méhészeti telephelynek tekint, amelynek potenciális mézhozamát úgy számolja ki, hogy a környező táj kínálatát egy “kaptárbemeneti” metrikává aggregálja. A cikkek egy speciális csoportjában először több bináris kritériumot határoznak meg mennyiségi küszöbértékek formájában (pl. bizonyon mezőgazdasági kultúrák vagy a gyepterületek minimális aránya). A kritériumok azt jelentik, hogy ezeknek a térbeli feltételeknek teljesülniük kell a röpkörzet területén belül ahhoz, hogy a terület alkalmas legyen méhészeti telephelynek. Ezután ezeket a küszöbértékeket minden potenciális telephelyre (minden képpontra, vagy azok egyéb szempontok szerint szűkített körére) alkalmazzák. Azokat a területeket, amelyek nem felelnek meg a kritériumoknak, elvetik, végül pedig az elemzés vizuális kimeneteként térképeket készítenek a méhészetre alkalmas potenciálisan telephelyekről.

3. A **prediktív statisztikai modellek** megközelítése arra épül, hogy statisztikai kapcsolatot állapítanak meg egy vagy több prediktív változó és az adott ÖSZ mért értékei között, majd ezt a kapcsolatot kivetítik a földrajzi térbe.

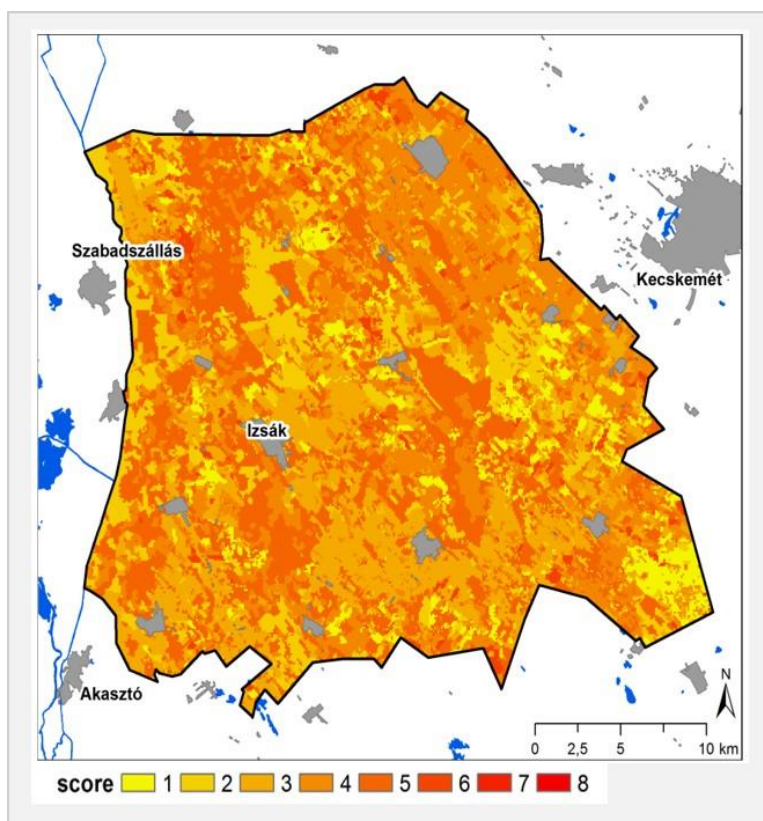
Az elemzés során azonosítottam az értékelési folyamat meghatározó döntési pontjait és a bennük rejlő bizonytalanságokat, illetve ezek megoldási lehetőségeit:

1. A **tartamosság** azt jelenti, hogy – szemben a tömeges hordású, de rövid virágzási idejű méhlegelőkkal – a vegetációs időszak egészében elérhetők virágforrások a méhek számára. Ha a vegetációs időszak egészére becsülnek potenciális mézhozamot, akkor a fent leírt modellsémák önmagukban nem nyújtanak információt a szezonálisról. Ezt a szempontot többféleképpen lehet beépíteni a modellekbe. Az egyik lehetőség, hogy meghatározott periódusokra (hordási időszakokra, évszakokra, hónapokra) különálló értékeléseket végeznek. Alternatív lehetőség, hogy az egyes élőhelyeken jellemző hordási időszak hosszát szabályként építik be a modellbe.
2. Egy növényfaj virágzási sikere, nektártermelése és a nektár cukortartalma térben és időben változékony. Előbbi elsősorban a **termőhelyi** (pl. talajtípus, lejtés és tengerszint feletti magasság, vízellátottság) utóbbi az **időjárási** (csapadék, páratartalom és hőmérséklet) viszonyoktól függ. A méréseken alapuló nektárhozam-bebecslések azonban gyakran felülbecsülik az adott körülmények között megvalósuló hozamot, mert többnyire optimális termőhelyi (esetenként célzott kísérleti) körülmények között nevelt egészséges növényekből történt mérési adatokat használnak. Ezt a felülbecslést úgy lehet kivédeni, ha termőhelyi és/vagy meteorológiai változókra alkotott szabályokkal módosítják az értékeket.
3. Az élőhelyek nektárhozamának tényleges hasznosítása optimális módon csak kellő erősségű méhcsaládok révén valósulhat meg, hiszen a méhcsalád népessége és egészségi állapota nagymértékben meghatározza annak hordási képességét. Az egyik legfontosabb ökoszisztéma jellemző a méhek egészsége szempontjából a változatos **pollenforrások** elérhetősége. Ez indokoltá teszi a nektárkapacitás mellett az élőhelyek pollen-kapacitásának értékelését is.

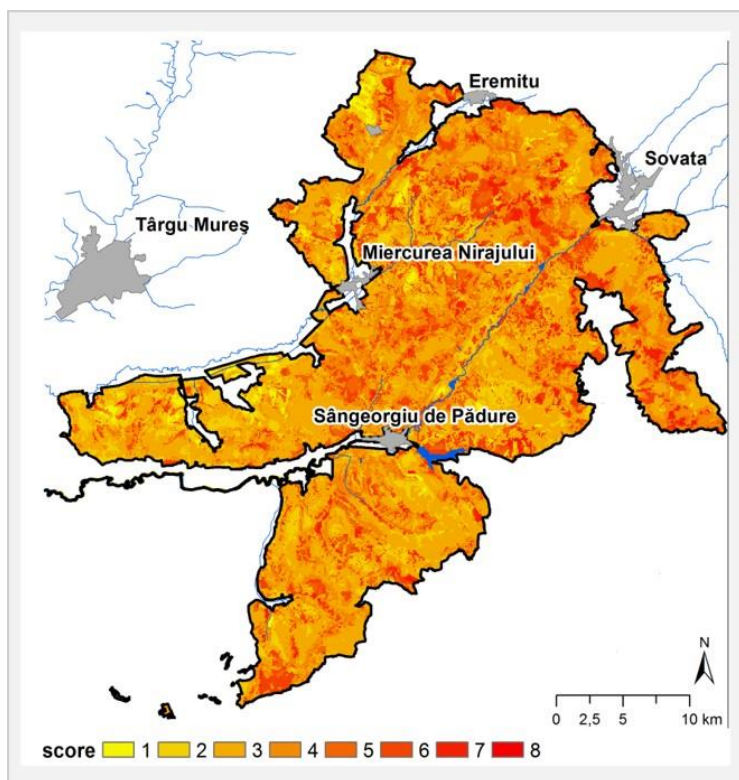
Mintaterületi értékelés

A két mintaterületen fejlesztett szakértői modellek módszertan, indikátor és bemeneti adatok tekintetében is megfelelnek az elemzés alapján leggyakoribbnak

bizonyult szabályalapú mátrixmodell típusának. Az egyes ökoszisztéma típusok potenciális mézhozamának jellemzésére minden típushoz egy relatív értékelő pontszámot rendeltünk hozzá 1-től 10-ig terjedő nominális skálán. A skála végpontjait a következőképpen rögzítettük. A legalacsonyabb pontszámot az adott mintaterületen belüli legalacsonyabb kapacitású ÖT kapta. A skála felső végpontja közös volt. Ez az elméleti kategória egy ideálisnak ítélt kárpát-medencei alföldi erdei méhlegelőként lett definiálva: ligetes szerkezetű, elegyfákkal tagolt alföldi akácos ideális termőhelyen. További releváns térbeli változókként a Homokhátság szakértői túlevelű és lombos erdőkben az akác elegyarányát, szántóföldeken pedig a mezőgazdasági kultúrák arányát azonosították. A Nyárad- és Kis-Küküllő Mentén a tengerszint feletti magasság, a legeltetés intenzitása, a talaj termékenysége, az élőhely természetessége és a táji sokféleség került kiválasztásra. A műhelymunkát követő utómunkálatok során minden változóhoz olyan additív szabályokat alakítottunk ki, amelyek meghatározzák, hogy az adott változó hogyan és milyen mértékben változtatja meg az (adott változó szempontjából releváns) ÖT szakértői pontszámát. Az 1. és 2. ábra a két mintaterület potenciális mézhozamának végleges térképeit mutatja.



1. ábra. A Homokhátság potenciális mézhozamának végleges térképe



2. ábra. A Nyárad- és Kis-Küküllő Mente potenciális mézhozamának végleges térképe

Az esettanulmányok tapasztalatai alapján kijelenthetjük, hogy a Kárpát-Medence alföldi és hegylábi területein a méhészkedés lehetőségeit nagymértékben meghatározza az erdők és agrárélőhelyek kiterjedése, művelési módja és művelési intenzitása, valamint az élőhelyek ökológiai állapota.

Erdők tekintetében a legmagasabb értékelést mindkét területen az akácelegyes erdők kapták, ami igazolja, hogy az akác fontos erőforrás a méhészet számára ezekben az országokban. Az ideális méhlegelő akácos a szakértők megítélése szerint ligetes szerkezetű, zömében fiatal, de néhány idős fának is otthont ad, elegyes fajösszetételű. Az ilyen erdő a zárt, homogén akácosnál üdébb, hosszabb ideig és nagyobb mennyiségben virágzik. Mindkét mintaterület szakértői hangsúlyozták, hogy a tavaszi időszakban a méhcsaládok fejlődéséhez kiemelten fontosak a korán virágzó fafajokban gazdag erdők. Általánosságban elmondható, hogy az erdő fajgazdagsága növeli a szélsőséges eseményekkel szembeni rezilienciáját, és ezáltal lehetővé teszi, hogy fenntartsa funkcióit és szolgáltatásait, ebben az esetben a kiegyensúlyozott virágpor- és nektártermelést.

Magyarország és Románia modern méhészeti gyakorlatában a mezőgazdasági termények döntő fontosságú erőforrást jelentenek. Ennek ellenére az intenzíven

művelt **szántóföldek** alacsony értékelést kaptak, mert növényvédelmi kezelésük következtében a méhmérgezés kockázatát rejthetik magukban. A kisparcellás, extenzív művelésű szántók és parlagok magasabb értékelése mutatja, hogy a virágok – köztük a szántóföldi gyomnövények – sokfélesége mezőgazdasági területeken is fontos a méhészek számára. Fontos kiemelni továbbá az agrártájak heterogenitását és multifunkcionalitását növelő fás élőhelyek fontosságát, mint amilyenek a fasorok, facsoportok, mezővédő erdősávok, patakminti füzesek.

A **gyepek** általában véve értékes méhlegelők virággazdagságuk révén, de közülük is a nedves és mezofil kaszálókat érdemes kiemelni. Emellett számottevő nektárforrást nyújthatnak a felhagyott, szukcesszió alatt álló területek azok virágzó cserjefajai és – a Homokhátság esetében – esetenként inváziós növényállományai révén.

Végül érdemes megemlíteni a **tanyát**, mint az Alföld jellemző, laza eloszlású, kertekkel és mezőgazdasági területekkel körülvett hagyományos települési formáját. A Homokhátság méhészei az aktívan használt és a felhagyott tanyákat és azok környezetét egyformán értékes méhlegelőkként értékelték.

5. Következtetések és javaslatok

A modelltípusok felhasználhatósága

A potenciális mézhozam modellek, illetve az azokból előállított térképek közvetlen gyakorlati felhasználhatósággal bírhatnak, hiszen a várható hozam előrejelzésével segíthetnek kiválasztani a jövőbeni méhészeti telephelyeket, megtervezni az esetleges vándorlást. Mindegyik modelltípusra igaz azonban, hogy a felhasználhatóság mértéke nagymértékben függ a térkép (illetve az alapjául szolgáló adatok) térbeli felbontásától és pontosságától. Emellett a kapacitás becslésének pontosságát az is meghatározza, hogy mennyire részletesek és finoman kidolgozottak a modellekben integrált szabályok, hiszen ezek képesek a nektártermelés nagy variációja mögött rejlő termőhelyi, éghajlati, domborzati vagy földhasználati tényezők megragadására. Ebből a szempontból érdemes kiemelni a potenciális mézhozam kínálat MCDA alapú becslését, amely az adatrétegek súlyozása révén finomabb részletek megragadására lehet képes, mint az egyszerű additív szabályokkal dolgozó modellek.

Durva térbeli felbontás esetén inkább csak nagy léptékű tervezésre adnak lehetőséget a térképek (pl. vándorlási régió kiválasztása). Ugyanakkor, ha a szabályalapú és a bővített szabályalapú modellek finomabb felbontással dolgoznak, már a konkrét telephely kiválasztásához is segítséget nyújthatnak.

Különösen igaz ez a bővített szabályalapú modellek esetében, hiszen az általuk szolgáltatott kaptár bemeneti térképek közvetlen információt nyújtanak a potenciális telephelyek körüli teljes röpkörzet értékéről. Amennyiben az egyes szezonokra külön-külön értékelés történik, a vándorlási telephelyeken töltött időtartam is tervezhetővé válik. A tervezhetőséget tovább növeli, ha szabályként bekerül a megközelíthetőség (utaktól, településektől való távolság) és a méhek számára rendelkezésre álló természetes vízforrás elérhetősége is. Abban az esetben, ha a modell nem szezonokra lebontva, hanem az egész vegetációs időszakra aggregáltan adja meg a potenciális mézhozam értékét, állóméhészeti telephely kiválasztására válik kifejezetten jól használhatóvá. Felhasználhatósági szempontból érdemes kiemelni még a potenciális méhészeti alkalmassági térképeket, amelyekben konkrét felhasználási célokhoz rendelnek küszöbértékeket, ezáltal a modellt közvetlenül az igényekhez lehet igazítani. Egy így készült térkép közvetlenül használható a tervezés során, szemben például a relatív pontozással értékelő módszereknél, amelyek esetében át kell gondolni, hogy hol helyezkedik el az adott értékelés relatív skálája a valós lehetőségek teljes spektrumán (erre szolgálnak a rögzített végpontok).

Módszertani bizonytalanságok

A műhelybeszélgetések során számos olyan kritikus módszertani kérdés felmerült, amelyet a szakirodalmi áttekintés is feltárt. A két munkarész során feltárt bizonytalanságokat és az azok kezelésére alkalmas módszertani lehetőségeket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A feltárt bizonytalanságok kezelésére adott módszertani lehetőségek

Bizonytalanság forrása	Lehetőség a bizonytalanság kezelésére
Az ÖT-k állományainak eltérő fajösszetétele	Fajelterjedési adatok közvetlen használata ÖT állományok fajösszetételének pontosítása fajelőfordulási modellekkel
Bizonyos növényfajok nektárhozama nem ismert vagy bizonytalan	Terepi méréseken alapuló biofizikai nektárhozam-becslés a mintaterületen
A nektár cukortartalmának bizonytalansága (méz/nektár arány)	A méz/nektár arány átgondolt megválasztása és a kalkuláció pontos dokumentálása A becsült értékek validálása valós mézhozamokkal

Bizonytalanság forrása	Lehetőség a bizonytalanság kezelésére
A nektárhozam szezonálisága	A teljes vegetációs időszakra vonatkozó potenciális mézhozam becslésekor alacsony ráfordítású állóméhészet feltételezése, vagy egy referencia méhészeti gyakorlat definiálása Az egyes hordási időszakok külön értékelése
Időjárási változékonyság okozta nektárhozam-különbségek	Biofizikai nektárhozam-becslés értékének módosítása időjárási változókkal (szabály alapú modellek) A becsült hozamok validálása valós mézhozamokkal
Termőhely okozta nektárhozam-különbségek	Biofizikai nektárhozam-becslés értékének módosítása termőhelyi változókkal (szabály alapú modellek) A becsült hozamok validálása valós mézhozamokkal
A méhek preferenciájának bizonytalansága	A mintaterületről származó (ismert hordási idejű) mézek összetételének elemzése
Kalibrálás magas ráfordítású méhészeti technológia valós hozamaival	Meg kell határozni egy referencia méhészeti gyakorlatot. Alacsony ráfordítású állóméhészetek értékeinek használata pontosabb becslést ad az ökoszisztéma tényleges hozzájárulására vonatkozóan. Magas ráfordítású méhészet értékeinek használatakor az értékeket az emberi inputok hatásának levonásával kell korrigálni.
A földhasználat káros hatásai a méhek egészségére	A méhek egészségét támogató, valamint az azt károsító tájszerkezet/gazdálkodási módok integrálása a modellbe szabály változókként

Tájhasználati konfliktusok

Kutatásom keretein egy komplex társadalomtudományos felmérés túlmutat, de a teljesség igénye nélkül azonosítottam két olyan tájhasználati konfliktust, amelyekre a felmérés során fény derült. Az egyik konfliktus a természetvédelemmel, a másik a mezőgazdasággal kapcsolatos. Az ökoszisztémák jó állapota és a magas biológiai sokféleség alapvetően a természetvédelem és a méhészet közös célja, ugyanakkor néhány konkrét, természetvédelmi szempontból káros inváziós faj (mindkét mintaterületen ilyen faj az akác, a Homokhátságon pedig ezen kívül a selyemkóró) megítélése

alapvetően eltérő, ami potenciális konfliktusforrást jelent. A mezőgazdasági tájhasználattal kapcsolatos konfliktusok oka a növényvédelmi gyakorlatban gyökerezik, ezt mindkét terület szakértői kiemelték. A Nyárad- és Kis-Küküllő Mentén ezen kívül a legeltetési állattartás által okozott túllegettetés is jelentősen csökkentheti bizonyos élőhelyek potenciális mézhozamát. A konfliktusok csökkentése érdekében fontos a természetvédelemmel és a földhasználókkal történő diskurzus az invazív fajok és agrárterületek kezeléséről, és ha mód van rá, a minden fél számára kedvező megoldások keresése.

Javaslatok

Annak érdekében, hogy a potenciális mézhozam, mint ÖSZ értékelése ellentmondásoktól mentes, következetes legyen, és a különböző értékelések összehasonlíthatóak legyenek, alaposan át kell gondolni a fogalommeghatározásokat és a módszertani részleteket, valamint világosan és nyomon követhetően dokumentálni és kommunikálni kell az indikátor kialakítási módszerének lépéseit és összetevőit. A téma természetéből adódó elkerülhetetlen bizonytalanságokat is tudatosan kezelni és kommunikálni kell, minden feltételezésnek világosnak és átláthatónak kell lennie. Egyértelmű különbséget kell tenni a növények nektártermelése és a méhcsaládok potenciális hordása között, mivel az utóbbi nem csak a növények kínálatára vonatkozóan tartalmaz feltételezéseket, hanem arra vonatkozóan is, hogy a méhek ezt mennyire hatékonyan tudják hasznosítani. Ezzel összhangban mindig világossá kell tenni, hogy a virágforrások "kínálati térképét" vagy a méhcsalád "bemeneti térképét" (a méhek számára egy adott helyről elérhető erőforrásokat) szeretnénk-e térképezni/modellezni. Általános szabályként érdemes olyan módszertani megoldásokat választani, amelyek kevésbé érzékenyek a bizonytalanságokra. Ha nem áll rendelkezésre a biofizikai értékeléshez szükséges pontos adatforrás, akkor célszerű robusztusabb indikátor választása (pl. méhlegelő fajok gyakorisága, szakértői pontozás). Ezeket a döntéseket minden esetben a kutatás tervezési szakaszában kell meghozni, a felmérés céljától és léptékétől, valamint a rendelkezésre álló adatoktól függően.

A potenciális mézhozam értékelésekor fontos meghatározni egy "referencia" méhészeti gyakorlatot. Míg a helyhez kötött állóméhészeteknek egy helyen kell törekedniük a lehető legnagyobb, ugyanakkor időben is minél kiegyenlített mézhozamra, addig a vándorméhészet több helyszínen elégíti ki ezeket az igényeket. Egy adott hely potenciális mézhozam-értékelése ezért elsősorban az állóméhészetben alkalmazható. Szintén az ÖSZ koncepcióval és az ÖSZ értékelési ajánlásokkal összhangban célszerű olyan méhészeti gyakorlatot

feltételezni, amely a lehető legkevesebb emberi input mellett fenntartható.

Minden esetben javasolható a részvételi módszerek alkalmazása legalább az indikátor fejlesztésének egyes szakaszain. Ez alapvetően a helyi méhészek megkérdezését, a velük való közös munkát jelenti, hiszen ők sokéves tapasztalatokkal rendelkeznek egy adott terület mézhozamáról. Még egy teljes mértékben biofizikai modell esetében is érdemes az eredményeket validálni a helyi méhészek, mint szakértők megkérdezésével, illetve az általuk termelt hozamok adataival.

Ahhoz, hogy megőrizzük az élőhelyek nektár- és virágportermelő képességét, fontos a természetvédelmi szempontokat előtérbe helyező kezelésük. Ez a háziméheket és a vadméheket egyaránt védi, amint azt több nemzetközi és uniós szakpolitika is támogatja (IPBES 2016). Mezőgazdasági területeken szükséges a potenciálisan káros beavatkozások, különösen a növényvédő szerek alkalmazásának gondos tervezése és időzítése a káros hatások minimalizálása érdekében. Emellett szükség van a méhészek, gazdálkodók, erdészek és természetvédelmi szakemberek közötti együttműködésre az élelmiszer-, takarmány-, fa- és méztermelésből származó hasznok optimalizálása, valamint az élőhelyek kedvező természetvédelmi állapotának egyidejű biztosítása érdekében. Az egyes területek ÖSZ-térképei fontos információt nyújthatnak az ilyen egyeztetésekhez és az ágazatok közötti vitákhoz, segíthetnek a földhasználat összehangolásában, és ezen keresztül akár az ágazatok közötti konfliktusmegoldás eszközeként is szolgálhatnak.

A földhasználat nemcsak a háziméhekre, hanem általában a vadon élő beporzókra és a biológiai sokféleségre is messzemenő hatással van. Ezért, tekintettel az utóbbiak aggasztó helyzetére, egy olyan komplex szolgáltatás, mint a méz felmérése olyan földhasználati döntések meghozatalához járulhat hozzá, amelyek mind a háziméhek, mind vadon élő rokonaik és általában a vadon élő beporzó fajok számára előnyösek.

6. Új tudományos eredmények

1. A potenciális mézhozamot az ökoszisztéma-szolgáltatás kaszkád koncepciók keretében interpretáltam.
2. A szisztematikus szakirodalmi elemzés során feltártam a meglévő tudományos publikációk által a potenciális mézhozamra vonatkozó értékelési módszereket. Ennek eredményeképpen három fő modell típust azonosítottam: szabályalapú mátrixmodellek, bővített szabályalapú mátrixmodellek és prediktív statisztikai modellek.
3. A kritikai értelmező szintézis eredményeként több, a potenciális mézhozamot befolyásoló tényező integrálásának különböző lehetőségeit, mint döntési pontot feltártam. Ilyen tényezők a tartamosság kérdése, az időjárás és termőhelyi viszonyok és a méhek egészségét támogató virágpor-kínálat.
4. A szabályalapú mátrixmodell módszertanát a Kiskunsági Homokhátság és a Nyárád- és Kis-Küküllő Mente regionális mintaterületekre adaptáltam, és mindkét területen elvégeztem a potenciális mézhozam értékelését helyi szakértők bevonásával.
5. A mintaterületi értékelés során feltártam a két mintaterület ökoszisztémái által a méhészkedés számára nyújtott lehetőségeket és kihívásokat, valamint a potenciális földhasználati konfliktusokat a természetvédelemmel és mezőgazdálkodással kapcsolatban.
6. Mind a szisztematikus szakirodalmi elemzés, mind a mintaterületi értékelés hozzájárult azoknak a kulcsfontosságú tényezőknek a feltárásához, amelyek a méhészet hosszú távú fenntarthatóságát biztosíthatják a mintaterületeken és a tágabb régióban.

7. Releváns publikációk

hivatkozás	Q érték	IF
Arany I. , Vári Á., Aszalós R., Kelemen K., Kelemen A.M., Bone G., Lellei-Kovács E., Czúcz B. (2019): Diversity of flower-rich habitats as a persistent source of healthy diet for honey bees - <i>European Journal of Geography</i> 10 (2), 89-106.	Q2	-
Arany, I. , Czúcz, B., Csonka, I., Kovács-Hostyánszki, A., & Molnár, Z. (2017): Tájváltozás, tájhasználat és az ideális méhlegelő dél-dunántúli méhészek szemével. <i>Természetvédelmi Közlemények</i> 23, 127–143.	-	-
Czúcz, B., Haines-Young, R., Kiss, M., Bereczki, K., Kertész, M., Vári, Á., Potschin-Young, M., & Arany, I. (2020): Ecosystem service indicators along the cascade: How do assessment and mapping studies position their indicators? <i>Ecological Indicators</i> 118, 106729.	Q1	4,2
Kuslits, B., Vári, Á., Tanács, E., Aszalós, R., Drasovean, A., Buchriegler, R., Laufer, Zs., Krsic, D., Milanovic, R., Arany, I. (2021): Ecosystem Services Becoming Political: How Ecological Processes Shape Local Resource-Management Networks. - <i>Frontiers in Ecology and Evolution</i> 9, 635988.	Q1	2,4
Kelemen, E., Lazányi, O., Arany, I. , Aszalós, R., Bela, Gy., Czúcz, B., Kalóczkai, Á., Kertész, M., Megyesi, B., Pataki, Gy. (2015): Ökoszisztéma szolgáltatásokról a kiskunsági Homokhátság társadalmának szemszögéből. <i>Természetvédelmi Közlemények</i> 21, 116–129.	-	-
Czúcz, B., Kalóczkai, Á., Arany, I. , Kelemen, K., Papp, J., Havadtői, K., Campbell, K., Kelemen, M., & Vári, Á. (2018): How to design a transdisciplinary regional ecosystem service assessment: a case study from Romania, Eastern Europe. <i>One Ecosystem</i> 3, e26363.	Q1	-

Dick J., Turkelboom F., Woods H., ... Arany I. , ... Zulian G. (2018): Stakeholders' perspectives on the operationalisation of the ecosystem service concept: Results from 27 case studies. <i>Ecosystem Services</i> 29, 552-565.	Q1	6,3
Vári, Á., Arany, I. , Kalóczkai, Á., Kelemen, K., Papp, J., & Czúcz, B. (2020). Berries, greens, and medicinal herbs—mapping and assessing wild plants as an ecosystem service in Transylvania (Romania). <i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i> 16(1), 13.	Q1	2,3
Czúcz, B., Arany, I. , Potschin-Young, M., Bereczki, K., Kertész, M., Kiss, M., Aszalós, R., & Haines-Young, R. (2018b). Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. <i>Ecosystem Services</i> 29, 145–157.	Q1	6,3
Zulian, G., ... Arany, I. , ... Viinikka, A. (2018): Practical application of spatial ecosystem service models to aid decision support. <i>Ecosystem Services</i> 29, 465-480.	Q1	6,3
Burkhard, B., ... Arany, I. , ... Zulian, G. (2018): Mapping and assessing ecosystem services in the EU - Lessons learned from the ESERALDA approach of integration. <i>One Ecosystem</i> 3, e29153.	Q1	-
Geneletti, D., ... Arany I. , ... Broekx, S. et al. (2020): Ecosystem services mapping and assessment for policy- and decision-making: Lessons learned from a comparative analysis of European case studies. <i>One Ecosystem</i> 5, e53111	Q1	-