

# A mérsékelt övi erdőkeretek ökoszisztéma szolgáltatásainak és produktívitásának értékelése

Szakdolgozat  
biológia alapszak

készítette:  
Heiszig Fanni

témavezető:  
STANDOVÁR TIBOR  
tanszékvezető egyetemi docens  
Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék

külső konzulens:  
MAG ZSUZSA, PhD

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

BIOLÓGIAI INTÉZET



Budapest, 2021

# NYILATKOZAT

**Név:** Heiszig Fanni

**ELTE Természettudományi Kar, szak:** Biológia BSc


**NEPTUN azonosító:** WOITPP

**Szakedolgozat címe:**

A mérsékelt övi erdőterek ökoszisztéma szolgáltatásainak és produktivitásának értékelése

A **szakedolgozat** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló szellemi alkotásom, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2021.05.06.



---

*a hallgató aláírása*

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	4
2. Az erdőkert .....	4
2.1. Agrárerdészeti rendszerek .....	4
2.2. Az erdőkert definíciója és jellemzői .....	5
2.3. Az erdőkert főbb tervezési szempontjai .....	8
2.4. Az erdőkertek története és magyarországi helyzetük .....	9
3. Az erdőkertek ökoszisztéma szolgáltatásai .....	11
3.1. Szabályozó szolgáltatások .....	12
3.1.1. A talajerózió csökkentése .....	12
3.1.2. Vízmegtartás .....	14
3.1.3. A klíma szabályozása .....	15
3.1.4. Szénmegkötés .....	17
3.1.5. Beporzás .....	19
3.1.6. Kártevők szabályozása .....	20
3.2. Fenntartó szolgáltatások .....	22
3.2.1. Talajképződés .....	22
3.2.2. Tápanyagkörforgás .....	24
3.2.3. Biodiverzitás .....	26
3.3. Kulturális szolgáltatások .....	28
3.4. Produktivitás –ellátási szolgáltatások .....	29
4. Következtetés .....	31
Irodalomjegyzék: .....	33

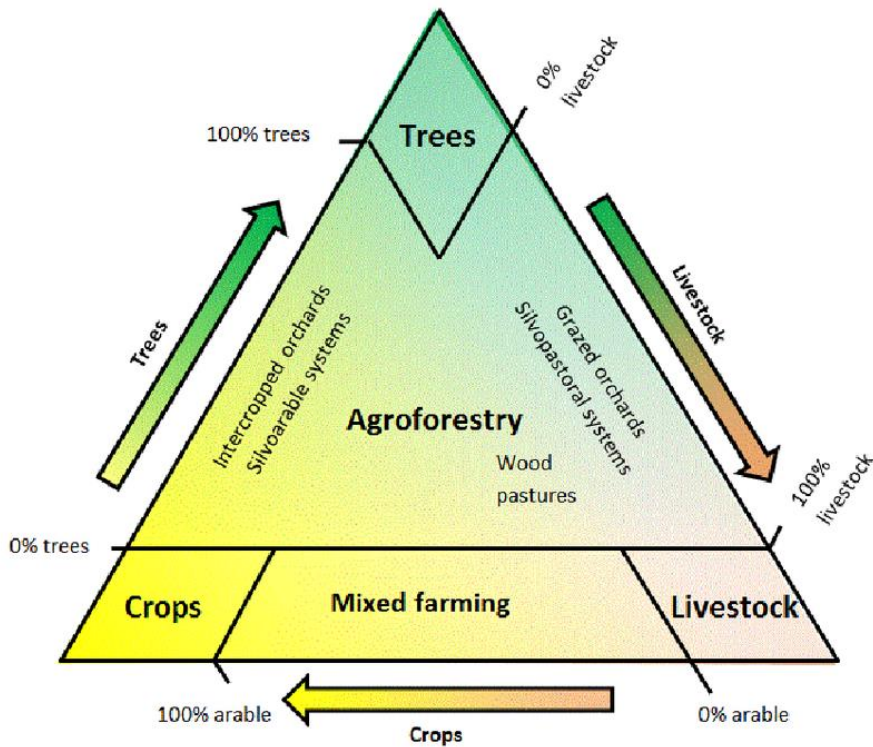
## 1. Bevezetés

Az ökológiai válság kialakulásában jelentős szerepük van az intenzív mezőgazdasági rendszereknek, hazánk területének is mintegy 57%-a mezőgazdasági terület (url1), ezért – a megmaradt természetes ökoszisztémák megóvása mellett – létfontosságú, hogy alternatívákat találjunk, és alkalmazzunk az élelmiszertermelésben. A mérsékelt övben viszonylag új koncepciónak számító, az agrárerdészeti gyakorlatok részét képező erdőkertekben nagy lehetőség rejlik e tekintetben. A természetes erdőkhöz hasonlóan hozzájárulhatnak a bioszféra egyensúlyának megőrzéséhez, jelentős szerepük lehet a klímaváltozás mérséklésében, emellett pedig megfelelnek az ember szükségleteinek, ellátnak élelemmel minket. Szakdolgozatom célja, hogy rámutassak az emberi jól-léthez szükséges ökoszisztéma szolgáltatások hanyatlására az intenzív monokultúras művelésekben, és bemutassam, hogy mind a szabályozó, fenntartó, kulturális és ellátási ökoszisztéma szolgáltatások miként valósulhatnak meg az erdőkertekben.

## 2. Az erdőkert

### 2.1. Agrárerdészeti rendszerek

Az agrár-erdészet vagy másképpen agroerdészet (agroforestry) bár modern fogalom, számos esetben az emberiséggel egyidős gazdálkodási formákat takar, melyek fő jellemzője, hogy mezőgazdasági haszonnövények termesztése vagy haszonállatok tartása fászáruakkal kombinált termelési rendszerben történik. Így agroerdészeti rendszernek tekinthetőek a fás legelők, a mezővédő erdősávok, a legeltetett erdők és faültetvények, a fákat integráló köztestermesztéses rendszerek, a köztéri gyümölcsösök és az erdőkertek is (Herder és mtsai, 2015).



1. ábra: az agroerdészeti gyakorlatok csoportosítása. (url2)

## 2.2. Az erdőkert definíciója és jellemzői

Az erdőkert meghatározható olyan élelmiszertermelő, élő, polikultúras rendszerként, amely struktúrája és működése szempontjából a természetes erdőkre hasonlít (Park és mtsai, 2018).

Az erdőkert gondosan megtervezett és fenntartott ökoszisztéma, mely hasznos növényekből, és ritkán háziállatokból áll. Magasabb és alacsonyabb fák, cserjék, lágyszárúak, gyökeres növények és kúszónövények alkotják olyan elrendezésben, hogy a pozitív interakciók maximalizálva legyenek, a negatívak pedig minimálisan érvényesüljenek. A növények általában ehetőek, de más célt is szolgálhatnak; közvetve vagy közvetlenül hasznosak az ember számára. A termőképességet nitrogén-fixáló és egyéb, a tápanyag-akkumuláló növények fokozzák, a tápanyag körforgása az erdei rendszerekhez hasonlóan stabil. A növények által fedett talaj ideális állapota, a magas

biodiverzitás egészségesen tartja a rendszert; a kártevők és betegségek, bár jelen vannak, a rendszer egésze szempontjából nem számottevőek. Az erdőkertek bármilyen léptékben művelhetőek, a kis hátsó kertektől kezdve számtalan mezőnyi területig; azonban egy ember számára átláthatóság és munka szempontjából a felső határ körülbelül 2 hektárnyi terület. Gépesített művelésük nem lehetséges, azonban nincs is rá szükség, mivel fenntartásuk nem igényel sok energiát (Crawford, 2010).

Az erdőkertek eredeti koncepciójában a következő 7 szint található:

1. Felső lombkorona szint: magas és közepes méretű klimax fajok alkotják, 9 m felett. Nehéz elérhetőségük miatt ritkábban gyümölcsfák, általában más hasznuk van: faanyagként szolgálnak, vagy nitrogénfixáló fajok lehetnek, mint az olasz éger (*Alnus cordata*). Kisebb kertekben kimaradhat ez a szint.
2. Alsó lombkorona szint: kisebb fák vagy magasabb cserjék, 3-9 méterig. A legtöbb gyümölcsfa itt található, lehetnek gyógyhatású fák, nitrogénfixáló fajok. A terméshozam itt a legjelentősebb. Ide sorolható például az alma (*Malus domestica*), szilva (*Prunus domestica*), naspolya (*Mespilus germanica*), kék babfa (*Decaisnea fargesii*), pirostermésű ezüstfa (*Eaeagnus umbellata*), galagonya sp. (*Crataegus ellwangeriana*).
3. Cserjeszint: maximum 3 m magas gyümölcstermő bokrok, nitrogénfixálók. Például ide tartozhat a ribizli (*Ribes rubrum*), különféle áfonya fajok (*Vaccinium spp.*), kék mézbogyó (*Lonicera caerulea*), egres (*Ribes x culverwellii*), málna (*Rubus idaeus*).
4. Évelő lágyszárúak szintje: néhány centimétertől 3 méterig. gyógynövények, évelő zöldségfélék, félcserjék, festőnövények tartoznak ide, például articsóka (*Cynara scolymus*), kárdi (*Cynara cardunculus*), tengerparti tátorján (*Crambe maritima*), orvosi körömvirág (*Calendula officinalis*), borágó (*Borago officinalis*).
5. Takarónövények szintje: árnyéktűrő, talajtakarást biztosító évelő lágyszárúak és kúszónövények (horizontálisan), „gyomok” vagy gyógynövények. Az elsődleges céljuk a kedvező talajállapot és szerkezet fenntartása a talajtakarás által. Nagyobb kertekben van rájuk főleg szükség. Ilyen növény lehet a nepáli málna (*Rubus*

*nepalensis*), almaillatú menta (*Mentha suaveolens*), kerek repkény (*Glechoma hederacea*), szamóca (*Fragaria vesca*), ibolyák (*Viola spp.*).

6. Gyökérezóna: ehető vagy hasznosítható gyökerű fajok, például a feketegyökér (*Scorzonera hispanica*), valamint a gombák, amelyek a fák tápanyagfelvételét segítve fontos szerepet töltenek be az erdőkertben, emellett termőtestük sok esetben étkezési célra is használható.
7. Vertikális szint: magasabb szintek növényeire felkúszó növények, liánok, mint a komló (*Humulus lupulus*), a szőlők (*Vitis spp.*), és egyes jamszgyökér fajok (*Dioscorea spp.*). Visszanyesésük szükséges lehet.

(Crawford 2010, Vargas Poveda, 2016)



2.ábra: az erdőkert hét szintje (url3)

### *2.3. Az erdőkert főbb tervezési szempontjai*

Erdőkert tervezésnél az első lépés a terület felmérése: az éghajlati adottságok, domborzati jellemzők, vízrajz, valamint a talaj tulajdonságai mind értékes információk. Az általános adatokon kívül fontosak a terület meglévő mikroklímáinak, egyedi adottságainak (széljárás, fagyzugok) személyes megfigyelése is. A szélbetörések ellen szélfogó sávokat ültethetünk (Crawford, 2010).

Következő lépésként tisztázni kell a céljainkat: mit várunk a kerttől, mennyi időt tudunk rászánni, milyen terményeket szeretnénk, mi az elsődleges alkalmazása (Crawford, 2010). Vargas Poveda (2016) archetípusokként különíti el a más-más célra tervezett erdőkerteket. Természetesen a jótékony hatások egyszerre is érvényesülnek, azonban a domináns szolgáltatás alapján csoportosíthatunk. A környezetvédelmi célú kertekben egyebek mellett kiemelt szerepet kaphat a szénmegkötés, a ritka őshonos fajok megőrzése; a produktív archetípusnál a lombkorona nyíltabb volta lehetővé teszi a hozam megnövelését, a fajok többsége ehető, elősegítve az élelmiszer-önrendelkezést. A közösségeknek szánt erdőkertekben helyet kapnak gyülekezésre alkalmas nagy nyílt terek, valamint olyan növények, amiket közösen érdemes szüretelni. Edukációs kertekben végezhető kutatási tevékenység; történelmi értékkel rendelkező növények, informatív táblák segíthetik az oktatást. A rekreációs archetípus alkalmas fizikai kikapcsolódásra, a gyerekek számára egy nagy játszótérként szolgál, a virágzó növények tömege az esztétikus élményhez járul hozzá; míg a gyógyító kertekben a csobogó vizek mellett elsősorban aromatikussá gyógy növényeket találunk.

A növények elhelyezése kapcsán az egyik legnehezebb dolog a fák ültetési távolságának megállapítása. A produktivitást leginkább limitáló tényező a beeső fény mennyisége. Ha a lombkorona túlságosan zárt, az alsóbb szinteken nem várható magas produkció; éppen ezért a mérsékelt övi erdőkertek a klimax erdők helyett a szukcesszió korábbi stádiumában lévő, fiatalabb erdők képére hajaznak, ahol a fák között elegendő fény jut a cserjéknek is. Értelemszerűen az alacsonyabb fákat a magasabbak déli oldalán helyezzük el, csökkentve a beárnyékolásukat; valamint a fák alsó ágainak lenyesése is megoldás lehet a fény növelésére (Crawford, 2010).



A tervezésnél figyelni kell a növények közötti kölcsönhatásokra is. Jótékony hatásúak a nitrogénfixáló növények, melyek 10-30%-os borítás esetén az erdőkert teljes nitrogén igényét biztosíthatják. Figyelembe kell venni továbbá, hogy egyes fajok allelopatikusak lehetnek; valamint a gyökerek kompetíciós képessége is változó. A rendszertanilag egymáshoz közel álló fajok egy csoportba való telepítésének mellőzése segít megakadályozni a fajspecifikus kórokozók és károsítók terjedését. A kétlaki fajok eltérő nemű egyedeit a sikeres megporzás érdekében egymáshoz közel kell ültetni (Crawford, 2010).



*3. ábra: Crawford erdőkertjének egy részlete (url4)*

#### *2.4. Az erdőkertek története és magyarországi helyzetük*

Az erdőkertek története messzire nyúlik vissza: Afrika és Dél-Amerika trópusi erdeiben az emberek már évezredekkel ezelőtt terjesztették és természetes módon művelték a számukra

hasznos növényeket. Ősi településhelyek közelében az amazóniai esőerdő kompozíciója még mindig tükrözi az egykori „házasítást” (Riolo, 2019). A trópusokon ez a hagyomány megőrződött, a házak melletti, többszintes erdőkerteket „homegardens”-ként találjuk meg. Az indiai Keralában ennek gyakorlata több mint 4000 éves (Park és mtsai, 2018).

A Kárpát-medencében bevett tájgazdálkodási forma volt a gyümölcsfákkal elegyes ártéri erdők – azaz gyümölcsények kialakítása. Az idegenhonos fajok tájba illesztve, az árhullámok által táplálva és öntözve-, szinte emberi beavatkozástól mentesen, „önfenntartó módon” hoztak hasznot. A fogyatkozó számú falvak melletti gyümölcsösök is sok dologban hasonlítanak az erdőkertekre: a gyümölcsültetvényekkel szemben vegyszermentes növényvédelem, fajtagazdagság, mozaikos szerkezet, többoldalú felhasználás jellemző rájuk. A harmonikus gyümölcsösök nem csak a termelés, de a pihenés, az alkotó munka és a társas élet színterei is voltak (url5).

A mérsékelt övi modern erdőkert koncepcióját elsőként Robert Hart dolgozta ki az 1970-es években, az Egyesült Királyságban. A mintegy 500 m<sup>2</sup>-es erdőkertjének tervezése során a klimax-erdőt vette alapul, így a kevés fény miatt az alsóbb szintek nem bizonyultak elegendően produktívnak (Crawford, 2010). Hart tapasztalatain okulva telepítette 1994-ben kertjét Martin Crawford; majd megszerzett tudását 2010-ben *Creating a forest garden* c. könyvében írta le. Munkája nyomán az erdőkertek népszerűsödni kezdtek az Egyesült Királyságban, Ausztráliában és az Egyesült Államokban (Riolo, 2019).

Magyarországon az erdőkert meglehetősen új fogalomnak számít. A kevés hazai példa közül fontos megemlíteni Baji Béla tápiószelei erdőkertjét, melyet egy 12 ezer m<sup>2</sup>-es permakultúrárs gazdaság részeként, 1987-ben kezdett kialakítani (url6).

Figyelemre méltó még a Hosszúhetényben található Zöld Zengő birtok is, ahol a gazdálkodó szil alapú vegyes-gyümölcsfás erdőkertet telepített a természetes erdősődési folyamatokra építve, elsősorban az alma, a körte, a cseresznye, a meggy, a diófélék, a szőlő és a málna termesztésére fókuszálva. Az erdőkert művelése vegyszer- és műtrágyamentesen, a permakultúra elvei szerint, illetve chop&drop módszerrel, azaz mulcsozással történik (url7).

Az erdőkert korai stádiumát figyelhetjük meg dr. Mag Zsuzsa biológus szári kertjében, ahol a 2014 óta már több mint 180 hasznos évelő növényfaj járul hozzá a család ellátásához (url8).

### 3. Az erdőkertek ökoszisztéma szolgáltatásai

Ökoszisztéma szolgáltatásnak nevezzük az ökoszisztémák közvetlen és közvetett hozzájárulását az ember létéhez és javához. Rendszerezésük nem könnyű feladat, a Millennium Ecosystem Assessment (2005) a következőképpen határozza meg őket: ellátó szolgáltatások, mint élelem, víz fa- és rostanyag; szabályozó szolgáltatások, amelyek a klímára, áradásokra, betegségekre, hulladékokra és a vízminőségre vannak hatással; kulturális szolgáltatások, amik rekreációs, esztétikus és spirituális javakat nyújtanak; valamint támogató szolgáltatások, mint a talajképződés, fotoszintézis, tápanyagkörforgás. Azonban többen megkérdőjelezték eme felosztás hatékonyságát és használhatóságát a döntéshozatalban. Ugyanis a felosztásban az ökoszisztémában zajló folyamatok és végtermékeik egy szinten találhatóak, az emberek számára közvetlenül nem hasznos folyamatok éppúgy szolgáltatásként vannak feltüntetve, mint e folyamatok gyümölcsei (Wallace, 2007). Ez megnehezítheti értékelésüket, ahhoz a hamis következtetéshez vezethet, hogy az ellátási- és kulturális szolgáltatások önmagukban is létezhetnek.

Az ökoszisztéma szolgáltatások leírása és kategorizálása az elmúlt években azért is vált fontossá, mert az ember környezetátalakító tevékenysége miatt veszélybe kerültek, ezzel visszahatva az emberi jól-létre is, mely végeredményben az ökoszisztéma szolgáltatásoktól függ (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Különösen fontos ez a biodiverzitás megőrzése esetén, ahol az értékeket gyakran nehéz gazdasági szempontból leírni, és a természeti erőforrásokkal kapcsolatos döntésekben ritkán fejtik ki őket (Wallace, 2007).

Az emberi tájhasználat az ökoszisztémák megváltoztatása által nagyban befolyásolja azok szolgáltatásait, a szárazföld felszínének 40%-át kitevő mezőgazdasági területeknek ebben

súlyos szerepük van (Hasan és mtsai, 2020). Az ellátó szolgáltatások maximalizálása a legtöbb esetben a szabályozó szolgáltatások csökkenéséhez vezet (Bennett és mtsai, 2009).

### 3.1. Szabályozó szolgáltatások

A szabályozó ökoszisztéma szolgáltatások alatt azokat a folyamatokat értjük, amik az ökoszisztémák hosszútávú fennmaradásához szükségesek, megőrzik azok jellegzetességeit, valamint egyensúlyban tartják a rendszert. Ide sorolható a levegő- és vízminőség szabályozása, a betegségek és kórokozók kontrollja, a beporzás, a hulladékkezelés, erózió-szabályozás, valamint a klíma helyi és globális szabályozása (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

A szabályozó ökoszisztéma szolgáltatások hanyatlása nem feltétlenül mutatkozik meg közvetlenül, rövid időn belül a többi ökoszisztéma szolgáltatás, mint például az ellátó szolgáltatások csökkenésében, azonban a rendszer ellenálló képessége jelentősen romlik, zavarás esetén nehezebben képes visszanyerni eredeti állapotát. Annak meghatározásában, hogy hol van az a küszöb, amit átlépve az ökoszisztémák végleg kibillennek egyensúlyukból, ezen szolgáltatásoknak döntő szerepük van (Bennett, 2009).

#### 3.1.1. *A talajerózió csökkentése*

A talajerózió egy kritikus környezeti probléma a szárazföldi ökoszisztémákban. Lassú, mondhatni alattomos folyamat. Egy milliméternyi talaj elvesztése egy zivatarban vagy egy szélviharban látszólag oly kevés, hogy észrevétlen marad. Mégis ez a veszteség egy hektárnyi szántóföldön 15 tonna. Ekkora mennyiségű talaj helyreállításához természetes körülmények között 20 évre van szükség (Pimentel és Kounang, 1998).

A talajerózió a termőföld lemosódását, lepusztulását jelenti külső erők, az eső és a szél hatására. Elsősorban a növényzet nélküli felszínen érvényesül: itt az esőcseppek

becsapódását, valamint a víz szivárgását a talajban és felszíni mosását nincs ami megállítsa, enyhítse. A megnövekedett erózió okai közé tartozik az erdőirtás, túllegettetés, talajművelés és a helytelen mezőgazdasági gyakorlatok; mértéke függ a csapadék mennyiségétől, az egyes csapadék események intenzitásától, valamint a domborzati viszonyoktól is. A szántóföldek átlagos eróziós rátája ( $12,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) a legmagasabb az összes földhasználati típus közül, 77-szer nagyobb, mint az erdőké ( $0,16 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) (Borrelli és mtsai, 2017). Az erózió következtében a talaj elveszti struktúráját, a vízlefolyás megnő, a talaj vízmegtartó képessége csökken; a szerves anyagok és az esszenciális tápanyagok, mint a nitrogén, foszfor, kálium, kalcium fokozott mennyiségben mosódnak ki. Mindezek hatására a növények és a talaj élőlény közösségének hanyatlása figyelhető meg, biomassza és diverzitás szempontjából is. A produktivitás összességében visszaesik, a talajréteg vékonyodása szintén kedvezőtlenül hat a növényekre, súlyosan erodált talajoknál a termés hozam 15-30%-os csökkenése figyelhető meg (Pimentel és Kounang, 1998). Végző soron a termőréteg elfogyhat, akárcsak a termékeny félhold esetében, melynek nagy része mára sivataggá vált.

A közvetlen hatásokon kívül a talajerózió távolabb is negatív hatással van a környezetre: szennyeződnek a folyók, tavak, a tápanyag többlet eutrofizációhoz vezet, megzavarva az ökoszisztémákat. A víztározók gyorsabban töltődnek fel, karbantartási költségük így nő; a folyótorkolatoknál szintén gondot okoz az iszaposodás. A gyors vízlefolyás következtében az árvizek gyakoribbá és súlyosabbá válnak. Nem elhanyagolható a szél által szállított szemcsék okozta légszennyezés sem, valamint a szemcsék miatt a szél eróziós erejének növekedése, amely súlyos károkat tud okozni (Pimentel és Kounang, 1998). A talaj mobilizációja jelentősen befolyásolja a biogeokémiai ciklusokat is, a tápanyagok és a szén körforgását. A talaj szerkezetének szétesésekor a benne található organikus szén 20%-a távozhat szén-dioxid formájában (Quinton és mtsai, 2010).

A műtrágyák és növényvédőszeres nagy mennyiségű használata, valamint az öntözés elfedi és jelenleg kiegyenlíti az erózió negatív hatásait a termés hozamra, azonban ezek a módszerek, amellet, hogy fosszilis energia függőek, károsak az emberi egészségre és szennyezik a környezetet. A klímaváltozás miatt az extrém időjárási események gyakorisága növekszik, a hirtelen, nagy mennyiségű csapadék lezúdulás várhatóan súlyosbítja a jövőben az eróziót. A kimerült talajok előbb-utóbb felhagyásra kerülnek, a

növekvő élelmiszerigény miatt erdőirtásra kerül sor, tarthatatlanná téve a jelenlegi talajművelést.

Az erdőkert alternatívát nyújthat a fenntartható élelmiszertermelésben, eróziója elhanyagolható. Pimentel és Kounang (1998) szerint fás területeken minimum 60%-os erdőborítottság szükséges a talajerózió megelőzéséhez. A talaj takarása élő, vagy elhalt anyaggal, valamint a növények gyökérzete a két legfontosabb faktor a talajerózió kontrolljában. Lejtős felszínen a mély és sűrű gyökérzet kombinációja előnyös, koncentrált vízfolyás esetén pedig a sekély, de sűrű gyökérzet (Gyssels és mtsai, 2005). Az erdőkertekben a különböző szinteken lévő növények gyökerei jól kiegészítik egymást, a felszín egész évben borított, valamint a frissen beültetett felszín is mulccsal van borítva. Mivel nincs talajbolygatás, a talajélet egészséges marad, ennek köszönhetően pedig a talajnak van szerkezete, megtartja a vizet és a talajképződés fokozott mértékű.

### *3.1.2. Vízmegtartás*

A dús vegetációval borított, erózió nélküli területek, (mint az erdőkert) talajukban visszatartják a nedvességet, a víz lefolyása lelassul, esőzés után a lezúduló csapadék nagy része a területen marad. Fontos szerepe van ennek a szolgáltatásnak a természeti katasztrófák mérséklésében és megelőzésében; erdőirtások következtében az árvizek száma nő. Aszályos, száraz területeken sokkal nagyobb az esély erdő- és bozóttűzre.

A víz fenntartható használata szintén fontos kérdés. A Millenium Ecosystem Assesment (2005) jelentése szerint jelenleg az öntözésre szánt vízmennyiség összességében 1200 köbkilométer évente, ennek 15-35%-a nem fenntartható, mert túllépi a rendelkezésre álló forrásokat. Számos példa mutatja, hogy súlyos katasztrófát okozhat, ha a természetnél a környezeti adottságok nincsenek figyelembe véve; gyapottermesztés sivatagos területen az Aral-tavat tápláló víz elöntözéséhez vezetett, kiszárítva azt. Hasonló eset történt az afrikai Csád-tóval. A jövőben várhatóan az aszályos időszakok száma növekedni fog; még nagyobb igényt támasztva a külső vízpótlásra a mezőgazdasági területeken.

Az erdőkertek létesítésének korai szakaszában is szükség van öntözésre; azonban mivel a természetes ökoszisztémák utánzása a cél, hosszútávon nincs rá igény. Ez elsősorban kövér és agyagos talajokra igaz; abban az esetben, ha talajunk homok – kivéve, ha csak szárazságtűrő növényeket ültetünk – szükség lehet öntözésre, mivel a homok nem tartja meg a vizet. Az öntözésre ideális esetben a háztartásból származó szürkevizet, vagy esővizet használunk. Nagyobb kerteknél érdemes víztározót kialakítani a terület legmagasabb pontján, innen a gravitáció és egy cső segítségével könnyedén öntözhetünk ahol szükséges. Meredek terület esetén érdemes alaposabban megtervezni a víz útját, a szintvonalakkal párhuzamosan kialakított árkok nehezebbé teszik, hogy a víz elhagyja a területet (Crawford, 2010). Egy nagyobb erdőkert öntözése természetesen nem oldható meg csupán esővíz és szürkevíz segítségével, ez inkább kiegészítésként szolgál néhány növény termesztéséhez. A rendszer egészét mindenképp érdemes helyi adottságokhoz tervezni.

A növények és a talaj szempontjából a mikroöntözés a legelőnyösebb, alacsony intenzitású, lassú, szivárgó öntözés, amely közvetlenül a gyökérszónába juttatja a vizet. A gyomnövekedést nem segíti, mivel kevesebb víz jut a talajfelszínre, valamint a levelek felszíne szárazon marad a spriccelő öntözéssel ellentétben, csökkentve a levélbetegségek kialakulását. Előnye még, hogy az egyenletes vízáram nem okoz stresszt a növény számára, fokozva ezzel a hozamot. Mivel tartós öntözésre nincs szükség, hordozható csöveket/csepegtetőket érdemes alkalmazni. Hátránya, hogy ilyen rendszer létesítésének ára magas lehet, a csövek eltömődhetnek (Crawford, 2010).

### *3.1.3. A klíma szabályozása*

A klimatikus viszonyok fontos meghatározó feltételei az életnek a környezeti adottságok közül – azonban az ökoszisztémák is visszahatnak a klímára; globális, regionális és helyi szinten is befolyásolják azt. Az erdőkben elsősorban a földfelszín közelében mérve, megváltozott klimatikus körülményeket találunk, amik eltérnek a környező légkör éghajlati adottságaitól: mikroklíma alakul ki. Kialakulásában szerepet játszhatnak a domborzati viszonyok is. A mikroklíma egy olyan ökoszisztéma szolgáltatás, amely számos ökológia folyamatot meghatároz. A fény mennyisége, a hőmérséklet, a páratartalom fontos feltételei

különböző élettani folyamatoknak, mint a növények regenerációja, növekedése és virágzása; kihatnak a talaj tápanyagkörforgására, légzésére is (Chen és mtsai, 1999). De Frenne és munkatársai (2013) tanulmányukban kimutatták, hogy az északi félteke mérsékelt övi erdeinek fontos puffer szerepe van klímaváltozás hatásában: mikroklímájuk lelassítja a talajszintben lévő flóra kompozíciós változásait, csökkenti a termofilizáció mértékét.

Habár a természetes erdőkhöz képest az erdőkeretek lombkoronája kevésbé zárt, a színtezettsége kedvez a mikroklíma kialakulásának: a fák alatt a levegő hőmérséklete kiegyenlítettebb, mint nyílt területen, a páratartalom pedig magasabb. A lebomló avar szivacsként tartja a vizet, az alsó szinteken lévő növények kipárologtatják, a lombkorona pedig fogva tartja a nedvességet. A fák és bokrok lelassítják a légáramlatokat, enyhítik a fagykárokat okozó jeges szelek hatását. A talaj hőmérséklete szintén moderálva van, szerves anyaggal való fedettsége miatt nyáron hűvösebb, télen melegebb.

A mikroklíma meghatározza, hogy milyen fajok termesztethetők az aljnövényzetben. A helyi klíma, elsősorban a besugárzás és a csapadék mennyiségének figyelembevételével érdemes tervezni a lombkorona borítottságot: mediterrán területeken nagyobb sűrűsége van szükség, mint óceáni éghajlaton (Crawford, 2010).

A helyi, mikroklimatikus hatás mellett a globális léptékű klíma kialakításában és fenntartásában is szerepük van az erdei ökoszisztémáknak. Az erdőirtások és az elsivatagosodás a regionális esőzések csökkenéséhez vezettek a trópusokon és a szubtrópusokon (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

Biotikus kontroll hiányában az óceántól távolodva a csapadék mennyisége exponenciális csökkenést mutatna, valamint a felszíni vizek a gravitáció miatt az óceánokban kötnének ki. Az a tény, hogy ez nem így van, az aktív biotikus pumpának köszönhető. Működésének alapja, hogy az alacsonyan lévő levegő a gyenge evaporációs területektől az intenzívebb evaporációs rátával rendelkező területek felé mozog. A magas levélfelületi index miatt a természetes erdők magas evaporációs rátával rendelkeznek, ezáltal páradús légtömegeket 'szívnak el' az óceánok felől – ez adja az atmoszferikus nedvesség biotikus pumpájának lényegét. Az amazóniai esőerdők teljes kiirtásával a medence csapadékmennyisége 87%-kal lecsökkenne, a belső területek elsivatagosodnának. Az óceánparti régió vegetációja



kiemelten fontos: ha körülbelül 600 kilométeren keresztül hiányzik a megfelelő erdőborítás, a kontinens belső területeinek erdőségei lassan kiszáradnak. Makarieva és Gorshkov (2009) szerint Ausztráliában az 50-100 ezer évvel ezelőtt létező erdőségeknek az emberek érkezése vetett véget, a part menti erdők kiirtása okozhatta az egész kontinens elsivatagosodását.

A szavannák, puszták, prérik, mesterségesen soványított kizsákmányolt erdők, ültetvények, legelők vagy szántók növénytakarója nem képes aktív biotikus pumpára, hosszútávon nem képesek fenntartani a talaj nedvességtartalmát az élet számára optimális állapotban (Makarieva és Gorshkov, 2009).

Feltéve, hogy evaporációs rátájuk nagyobb, mint az óceáni vízfelszíné, a mérsékelt övi erdőtertek hozzájárulhatnak a biotikus pumpa működéséhez.

Megjegyzendő, hogy ahol a víz természetes utánpótlása nem tud megvalósulni, ott az erdősítés végső soron szárítja a területet, ezért például a zöld fal tervének sikeressége kérdéses a Száhel övezetben. A szenciklusban való részvételük, valamint albedójuk által az erdők közvetve is befolyásolják a klímát.

#### *3.1.4. Szénmegkötés*

A szénmegkötés szárazföldi környezetben a fotoszintézis, a légzés és a lebontás biológiai folyamatától függ. A szénmegkötés során a szén-dioxid a légkörből kivonva rezervoárokba kerül. Összességében a fotoszintézis által nyert szerves anyag és a légzéssel elvesztett szén különbsége, tehát rátája negatív is lehet. Az erdők lényeges szénelnyelők, nagy mennyiségű szenet tartalmaznak, (a fosszilis energiahordozókat is egykori erdőknek köszönhetjük). A tájhasználat megváltozásával, elsősorban erdőirtással viszont ez a tárolt szén visszakerül a légkörbe, az emberi szénkibocsátás 25%-át téve ki (Schafer és mtsai, 2019).

Az agroerdészeti rendszereknek, és az erdőterteknek nagy potenciáljuk van a szén megkötésére. Több mint a legelők és szántók fátlan rendszereinek, mivel a fák gyökerei több tápanyagot képesek felvenni, amelyet megoszthatnak a környező növényekkel,

fokozva azok növekedését. Továbbá a fák kiterjedt gyökérhálózata a talaj mélyebb rétegeit is eléri, ennél fogva növeli a talaj szerves széntartalmát, valamint a mélyebb talajrétegek kisebb eséllyel vannak zavarásnak kitéve, a szén tartózkodási ideje hosszabb (Lehmann és mtsai, 2019). Schafer és munkatársai (2019) Crawford dartingtoni kertjének vizsgálata alapján kimutatták, hogy egy hektárnyi erdőkert fái  $39,53 \pm 4,05$  Mg szenet képesek tárolni. Ehhez legnagyobb mértékben az olasz égerék (*Alnus cordata*) járultak hozzá, 36,9%-át téve ki a kert teljes széntárolásának. Másodikként az eredetileg szélfogónak tervezett kosárkötő fűz (*Salix viminalis*) volt képes a legtöbb szenet megkötni, jelentősnek bizonyult még a legnagyobb fák, a monterey-fenyők (*Pinus radiata*) hatása is. Ez a tanulmány azonban csak a 2 méternél magasabb és 2 cm törzsátmérőnél vastagabb fákat vette figyelembe, a kisebb fák, bokrok, lágyszárúak alkotta sűrű és diverz szintjeinek szénkészletét Lehmann és munkatársai (2019) vizsgálták ugyanabban az erdőkertben. Az alacsonyabb szintek átlagos széntárolása a föld feletti és föld alatti biomasszában együttesen  $3,69$  Mg C ha<sup>-1</sup> volt. A mérsékelt övben őshonos fajok, mint a fürtös áfonya (*Vaccinium corymbosum*), közönséges boróka (*Juniperus communis*) és a bogyós orbáncfű (*Hypericum androsaemum*) szénfrakciója átlagon felüli volt, míg az egzotikus fajoké, például a vadcitromé (*Poncirus trifoliata*) átlagon aluli. Összességében az erdőkert egész vegetációjának szénfelhalmozása  $43,22$  Mg C ha<sup>-1</sup>, ami a mérsékelt övi erdőkét ugyan nem, de más élelemtermelő rendszerek széntárolási kapacitását meghaladja (Lehmann és mtsai, 2019). Ebből a szempontból lényeges, hogy hol telepítünk erdőket; nyilván egy erdő helyén, melynek széntárolási kapacitása magas, nem éri meg, azonban szántón, vagy legelőn telepítve jelentősen növelhető a szénelnyelés és tárolás.

A szárazföldi ökoszisztémák – az erdőkkel az élükön – az antropogén eredetű szénkibocsátásnak körülbelül egyharmadát nyelik el évente, mérsékelve ezzel a felmelegedést. Azonban kérdéses, hogy ez meddig maradhat így. A fotoszintézis hőmérsékleti optimuma mérsékelt övi erdőkben  $18$  °C, trópusi erdőkben pedig  $28$  °C; ezeket a küszöbököt átlépve a fotoszintézis hatékonysága folyamatosan romlik, míg a légzés mértéke tovább nő. A globális átlaghőmérséklet emelkedésével pozitív visszacsatolási folyamat indulhat meg: az erdők szénelnyelőkből szép lassan szénkibocsátókká válhatnak, a század közepére a szárazföldi bioszféra szénelnyelő kapacitása megfeleleződhet (Duffy és mtsai, 2021).

### 3.1.5. Beporzás

A beporzó élőlények fontos szerepet játszanak a szárazföldi ökoszisztémák egyensúlyának fenntartásában; a virágos növények nagy részének magképzés általi fennmaradása tőlük függ. Az élelmiszertermelés jelentős része is rajtuk alapszik: a termesztett növények kétharmadának szüksége van megporzókra (Tylianakis, 2013), érdemes odafigyelni a kulcsfajok megőrzésére, eltűnésük súlyos következményeket hordoz magában.

A beporzók túlnyomó többsége rovar, legdominánsabbak közülük a méhek, szorosan utánuk pedig a legyek; a lepkéknek és molyoknak kisebb a jelentősége, azonban diverzitásuk a beporzó taxonok közül a legnagyobb. A gerincesek közül pollinátor számos madárfaj, denevér, éjszakai rágcsáló, valamint néhány óceáni szigeten gyíkok töltik be ezt a szerepet (Ollerton, 2017). Az elmúlt években számos tanulmány számolt be, főként a mézelő méhek és poszméhek állományainak helyi szintű hanyatlásáról Észak-Amerikában és Európában. Zattara és Aizen (2021) szerint ez a trend globális, a megfigyelt és regisztrált méhfajok száma meredeken csökken, 2006 és 2015 között 25%-kal kevesebb faj került bejelentésre, mint az 1990-es évek előtt. Ilyen szintű fogyatkozás aggodalomra ad okot: a zárwatermő növények 87,5%-a állati beporzású (Ollerton, 2017); mint szolgáltatás gazdasági értékét 2005-ben 215 milliárd dollárra becsülték (Vanbergen és mtsai, 2013). A pollinációs krízis komoly ökológiai és evolúciós implikációkat hordoz mind a növények, táplálékláncok és ökoszisztéma szolgáltatások tekintetében (Vanbergen és mtsai, 2013). Az ellátási szolgáltatások csökkenésével rövid idő alatt súlyos élelmezési válság alakulhat ki.

A krízis okai emberi eredetűek: az intenzív mezőgazdaság növekvő térnyerése élőhely pusztuláshoz és fragmentációhoz vezet, a táplálékforrást jelentő virágos növények diverzitása és gyakorisága csökken, beporzók számára fontos szaporodóhelyek szűnnek meg. A növényvédő- és rovarirtószerrek akkumulálódnak a növények nektárjában és pollenjében, általában az idegrendszerben fejtik ki hatásukat, és ha nem is vezetnek egyből halálhoz, felhalmozódhatnak, a kolóniák szaporodási esélyét csökkentik; különböző szerek együttes kombinációja végzetes lehet (Vanbergen és mtsai, 2013).

A klímaváltozás a virágzás és a pollinátor repülési ideje közötti szinkron megbomlásához vezethet; az idegen fajok kiszoríthatják az őshonos, specifikus beporzókat, újfajta betegségeket hozhatnak be. A méhek hanyatlásában a kártevők és kórokozók jelenleg is az egyik fő tényezőt jelentik, súlyos károkat okoz az ázsiai méhatka, mely vírus vektor is. Nehéz a veszteségek mögött egy tényezőt azonosítani, gyakori a koinfekció. Összességében számtalan tényező együttes hatása helyezi komoly nyomás alá a beporzó közösségeket (Vanbergen és mtsai, 2013).

Az erdőkeretek sok szempontból hozzájárulnak a pollinátorok megőrzéséhez. Vegyszerek nincsenek, a növények sokfélesége diverz élőhelyet biztosít. A meghagyott ágak, esetleg kihelyezett méhhotelek, ha a kolóniában fészkelő vadméheknek nem is, a magányos életmódú fajoknak fontos fészkelő- és búvóhelyek. A gyümölcsfák, fűszer- és gyógynövények mind jó nektárforrások, és ezeken felül is számtalan virágos növény szolgál táplálékforrásként. A cél, hogy a teljes szezonban legyenek virágzó növények, kora tavasszal és késő ősszel is, az árnyas és naposabb foltokat is tartalmazó erdőkeretben igen jól megvalósul, ellentétben a jelenleg domináns mezőgazdasági rendszerekkel, ahol ez nem mondható el. Egész évben virágozhatnak a boglárka fajok (*Ranunculaceae*) és a piros árvacsalán (*Lamium purpureum*); az ösvényeken jó nektár- és pollenforrás a fehér here (*Trifolium repens*), bőven hoz virágokat az árnyéket is tűrő kerek repkény (*Glechoma hederacea*), és a sort még sokáig lehetne folytatni. Egynyári virágágysók kialakítása szintén sokat jelenthet a beporzók számára (Crawford, 2010; url9).

### 3.1.6. Kártevők szabályozása

A természetes ökoszisztémák dinamikus egyensúlyi állapotban vannak, egyes fajok populációjának méretét a környezet eltartóképessége, valamint a táplálékhálózaton keresztül a többi élőlény szabályozza, így az ember nézőpontjából kártevő, betegséget okozó fajok sem szaporodhatnak túlzottan el. Ez, a ragadozók, valamint paraziták általi biotikus kontroll fontos ökoszisztéma szolgáltatást jelent.

Az intenzív mezőgazdasági kultúrákban és gyümölcsösökben a természetes kártevő szabályozás a megfelelő élőhelyek hiányában és vegyszerek alkalmazása miatt csökkent

mértékű, nem tudja betölteni szerepét. A megművelt földek területének arányával lineárisan csökken a természetes kártevő kontroll átlagos szintje a környező tájban. A megművelt táj 2%-ról 100%-ra való egyszerűsödése a levéltetű kontrollt 46%-kal csökkentette (Rusch és mtsai, 2016). Ennek az ökológiai funkciónak a kiesését különféle szintetikus vegyszerekkel, peszticidekkel (növényvédőszer) rovar- és gombaölőszerekkel pótolják. Ezek a vegyszerek ráadásul a ragadozó rovarok, hiperparazita gombák populációit érzékenyebben érintik, mint a kártevőket, így az önszabályozó-képesség tovább romlik. A termés sikere kémiai kontrollhoz van kötve, ennek pedig számos negatív következménye van: a kártevők rezisztenciája, gazdaságtalan előállítási költségek, bioakkumuláció a táplálékláncon keresztül, környezetszennyezés, biodiverzitás csökkenés és emberi egészségkárosítás (Bale és mtsai., 2008). A rovarok kiiktatásával természetesen a velük táplálkozó madarak is veszélybe kerülnek, akik ugyancsak fontos elemei a kártevő kontrollnak. Rachel Carson *Néma tavasz* című könyvében már 1962-ben erre hívta fel a figyelmet, hogy olyan mérgező anyagok, mint a DDT környezetbe juttatása egész ökoszisztémákra, végső soron az emberekre is visszahat.

Az erdőkert vonzó környezetet jelent a ragadozó rovarok számára. Habár a kártevők populációja olykor megnőhet, a rendszer általában gyorsan reagál és leszabályoz. Ezért egészséges rendszernél, melynek részei a ragadozók, dönthetünk úgy, hogy nem használunk vegyszereket, elkerülve ezzel a további károkat is. Ilyen hasznos ragadozók a virágpóloskák (*Anthocoridae*), félfedelesszárnyúak (*Nabidae*), fülbemászók (*Dermaptera*), futóbogárfélék (*Carabidae*), zengőlégyfélék (*Syrphidae*), zöldfátyolkák (*Chrysopidae*), katicabogárfélék (*Coccinellidae*), holyvafélék (*Staphylinidae*). Továbbá fontosak a rovarparaziták is, például a valódi fürkészarazsak (*Ichneumonidae*), melyek petéiket gyümölcskárosító molylepkék lárváiba teszik. Az évelő növények, amik vonzzák ezeket a jótékony hatású rovarokat főként az őszirózsafélék (*Compositae*) és zellerfélék (*Umbelliferae*) családjából kerülnek ki. Denevérdobozok kihelyezésével az erőkertünkbe vonzhatunk denevéreket is, melyek szintén nagyon jó kártevő predátorok: fejenként 500 molylepkét is megehetnek egy éjszaka alatt (Crawford, 2010).

A kártevőkkel szembeni védelemben és a betegségek megelőzésében fontos továbbá a növények kondíciója is. Gyenge, rossz állapotban lévő növény nehezen veszi fel a harcot támadójával, fogékonyabb a különféle betegségekre. Az erdőkert jó állapotban lévő talaja,

tápanyag- és vízellátottsága, valamint az előnyös társítások mind a növények egészségéhez járulnak hozzá (Crawford, 2010).

### 3.2. Fenntartó szolgáltatások

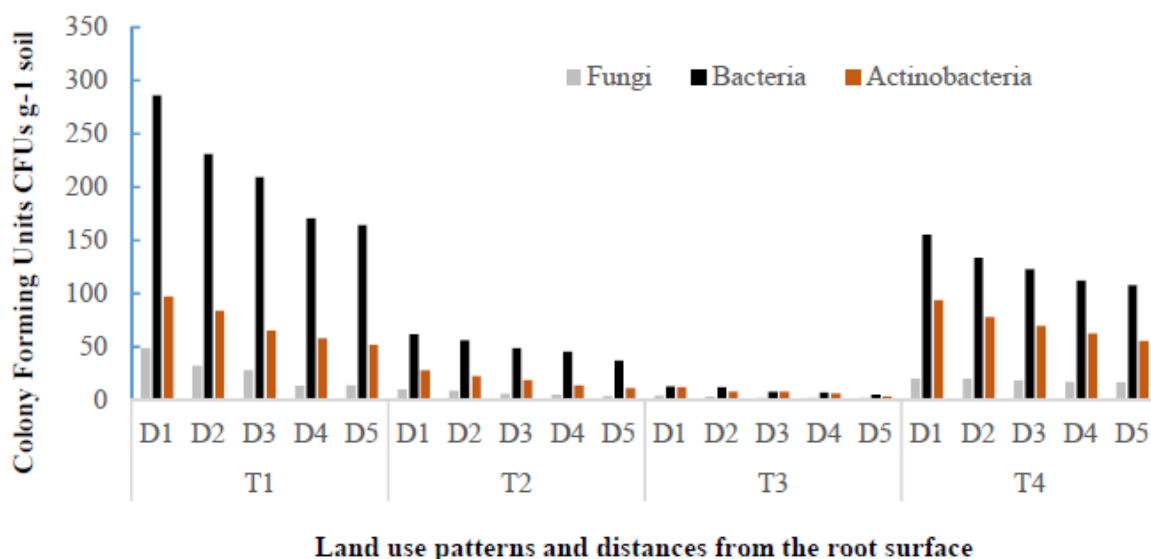
A fenntartó ökoszisztéma szolgáltatások mindazon háttér folyamatok, amelyek lehetővé teszik, hogy a többi szolgáltatás funkcionáljon. Hatásuk indirekt, közvetlenül nem hoznak hasznot az ember számára; megváltozásuk is hosszú idő után érzékelhető csak. Ide tartozik a fotoszintézis, a talajképződés, a tápanyagkörforgás, a vízkörforgás és a biodiverzitás (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

#### 3.2.1. Talajképződés

A termőtalaj létfontosságú a szárazföldi élethez, alapja számos ökoszisztéma szolgáltatásnak. Emberi időskála szempontjából nem megújuló forrás, természetes körülmények között 0,08-0,02 mm keletkezik évente. A hagyományosan felszántott mezőgazdasági területeken az erózió rátája átlagosan 1-2 nagyságrenddel nagyobb a talajképződés rátájánál (Duan és mtsai, 2017). A talajok degradálódnak fizikai, kémiai, biológiai és ökológiai úton is, a talajok minőségének hanyatlása a szárazföldek 33%-át érinti (Lal, 2015).

Az erdőterekben az élő növények alkalmazása, a talajbolygatás és a vegyszerek hiánya, az egész évben fedett talajfelszín mind elősegítik az intenzív és diverz talajéletet. A növények megléte mellett a biológiai talajképződéshez és a talaj minőségének visszaállításához elengedhetetlenek a talaj lebontó szervezetei. A talaj életközösségének kritikus szerepe van a lebontásban, tápanyag-körforgásban, szén-dioxid szabályozásában és még számos ökoszisztéma funkcióban (Lal, 2015). A növények gyökerei cukrokat juttatnak a talajba, az elhalt növényi részek is tápanyagot jelentenek a lebontó mikroorganizmusoknak, melyek mineralizálva azokat újra elérhetővé teszik a növények számára. Mindez legfőképp a rhizoszférában zajlik, a talaj azon részében, ahol a gyökerek hatásukat kifejtik; a mikroorganizmusok száma a gyökérfelszíntől távolodva folyamatosan

csökken. Különböző tájhasználati módok során a talaj mikrobiótája is változik. Egy kolumbiai felmérésben másodlagos erdő, rizs monokultúra, ananász monokultúra és egy agroerdészeti rendszer (*Theobroma cacao* és *Acacia mangium* társítása) talajában található baktérium, aktinobaktérium és gomba mennyiségét hasonlították össze, telepkepző egységeik számát vizsgálva. Az eredmények jól mutatják, hogy a másodlagos erdő után az agroerdészeti rendszerben található a legtöbb organizmus, míg a monokultúras művelésnek van a legnegatívabb hatása a talaj életközösségére (Silva-Parra és mtsai, 2017). Az erdőkertek ebből a szempontból feltehetőleg a másodlagos erdő és az agroerdészeti rendszer között helyezhetők el.



4.ábra. A különböző tájhasználati módok és a gyökerektől való távolság hatása a mikrobiális populációkra. Gomba  $\times 10^3$ ; baktérium  $\times 10^6$ ; aktinobaktérium  $\times 10^4$  CFE  $g^{-1}$ . T1=másodlagos erdő; T2=rizs monokultúra; T3= ananász monokltúra; T4=agroerdészeti rendszer. Távolság a gyökérfelszíntől: D1: 0-10 cm; D2: 10-20 cm; D3: 20-30 cm; D4: 30-40 cm. (url10)

Az erdők talajának mikrobiális életközösségében dominánsak a gombák, melyek a baktériumoknál hatékonyabbak szervesanyag-lebontás szempontjából (Silva-Parra és

mtsai, 2017). Különösen fontosak a mikorrhiza gombák, melyek szimbiózisban élnek a növényekkel, segítenek a víz- és ásványianyag felvételben, védelmet biztosítanak a patogén gombákkal szemben. A gombafonalak képesek tápanyagokat közvetíteni egymástól pár tíz méterre lévő növények között is, segítve ezzel a nitrogénfixálók hatását. A növények növekedése 4-5-ször nagyobb lehet e gombákkal együtt, mint ugyanolyan körülmények között nélkülük. A mikorrhizák mennyisége erősen lecsökken a talaj zavarásakor, nitrogén többlet és kitett talajfelszín esetén, tehát a modern mezőgazdasági gyakorlatok károsak rájuk nézve. Egy egészséges erdőkert ökoszisztémájában a mikorrhiza gombák hifái a talaj felső rétegének egészét beborítják, hálózatot alkotnak, összekapcsolva rengeteg növényfajt (Crawford, 2010).

Nem szabad elfeledkezni a makro-organizmusokról sem. A giliszták, hangyák, természetek és a földben élő bogarak aktivitása hozzájárul a talaj struktúrájának kialakulásához. Fontos szerepük van a szerves anyag humusszá alakításában járataikkal porózussá teszik a talajt. A gépi művelésű földekkel ellentétben, ahol gyakori a tömörödés, az erdőkertekben jelenlétüknek is köszönhetően nem tömörödik a talaj, nincs szükség talajforgatásra.

### *3.2.2. Tápanyagkörforgás*

Az élethez szükséges elemek megfelelő és kiegyensúlyozott adagolása a tápanyagkörforgás ökológiai folyamata által alapja az összes többi ökoszisztéma szolgáltatásnak. Számtalan kulcsfontosságú tápanyag ciklusa az elmúlt két évszázadban lényegesen megváltozott emberi tevékenységek hatására, mind pozitív és negatív következményekkel egy sor ökoszisztéma szolgáltatásra, valamint az emberi jól-éltre. A tápanyagok ásványi elemek, mint a nitrogén, foszfor, és kálium, melyek nyersanyagként esszenciálisak az organizmusok növekedésében és fejlődésében. Az ökoszisztémák szabályozzák az áramlását és koncentrációját ezeknek a tápanyagoknak komplex folyamatokon keresztül, amik lehetővé teszik az elemek kivonását az ásványi eredetükből (atmoszféra, hidroszféra és litoszféra) vagy újrahasznosításukat halott élőlényekből. Ez a szolgáltatás a fajok sokféleségén keresztül valósulhat meg (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).



A szárazföldi ökoszisztémák kapacitását tápanyagok elnyelésére és megtartására a (pl. trágyából vagy a levegőből megkötött nitrogén és kén hasznosítását) aláássa, csökkenti az ökoszisztémák radikális leegyszerűsítése nagy léptékű, alacsony diverzitású mezőgazdasági tájakká. A többlet tápanyag a talajvízbe, folyókba, tavakba szivárog és végső soron a partoknál az óceánokba érkezik. A városi területek kezelt vagy kezeletlen szennyvize ehhez még hozzáadódik. A preindusztriális időkben a levegőből a szárazföldi, és vízi ökoszisztémákba áramló nitrogén éves mennyisége hozzávetőlegesen 110-210 teragram volt. Emberi tevékenység további 165 teragram nitrogént ad hozzá évente, mondhatni megduplázva ezzel a reaktív nitrogén keletkezésének ütemét a Föld felszínén. Ez azt jelenti, hogy az ember a legjelentősebb nitrogénmegkötő szervezet (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

A nitrogén felhalmozás a földeken és a vizekben nagy hozamot tesz lehetővé az élelmiszertermelésben számos országban, de ennek ára van: növekszik a kibocsátása az üvegházhatású gázoknak, degradálódnak az édesvízi és part menti ökoszisztéma szolgáltatások, romlik a vízminőség, csökkennek a halászterületek (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

A foszfor felhalmozás szintén növekszik, évente 10,5-15,5 teragrammal a preindusztriális 1-6 teragrammos rátához képest, főleg a bányászott foszfor műtrágyaként való felhasználása miatt. Az erózió folyamatával bekerülnek az élővizekbe, eutrofizációt és egyéb károkat okoznak. Ez a tendencia valószínűleg erősödni fog a következő évtizedekben, mivel nagy mennyiségű foszfor halmozódott fel a talajokban és bemosódásukat a vizekbe nehéz előre jelezni (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

Habár az erdőteretek fiatal erdők képére vannak tervezve, cél, hogy emberi fogyasztás szempontjából nagyobb hozamuk legyen, mint a természetes erdőknek van, ehhez pedig extra tápanyagról gondoskodni kell. Ennek legjobb módja, ha magában a rendszerben keletkezik sok tápanyag, nem pedig külső forrásoktól függ a produktivitás. A megfelelő nitrogénmennyiséget nitrogén-fixáló fajokkal biztosíthatjuk. Ezek legtöbbször pionír faj, így sok fényre van szükségük. Hátrányuk, hogy sok helyet foglalnak el, azonban felhasználásuk sokoldalú lehet, szolgálhatnak méhlegelőként, tűzifaként, vagy ehető bogyókat teremhetnek. A nitrogén-fixáló növényeket két csoportba oszthatjuk, a

hüvelyesek (*Fabales*) a *Rhizobia* baktériumokkal élnek szimbiózisban, az aktinorhizás szimbionták pedig az *Actinobacteria* törzssel, ilyen például a pirostermésű ezüstfa (*Elaeagnus umbellata*) és az olasz éger (*Alnus cordata*). A fixált légköri nitrogén a magas nitrogéntartalmú levelek, vékonyabb gallyak és a hajszálgökök lebomlása folytán kerül a talajba, illetve a mikorrhizás gombafonalak transzportján keresztül jut el a többi növényhez. Ezek a szerves nitrogénformák kevésbé mosódnak ki a talajból, így nem okoznak környezeti károkat (Crawford, 2010).

Egyéb könnyedén elérhető trágyázó forrás lehet a fekete nadálytő (*Symphytum officinale*), ami gyorsan nő és mulcsként használva nitrogénnel és káliummal táplálja a talajt. Fontos káliumforrás még a fahamu. Az emberi vizelet és ürülék (komposzt formájában) ugyancsak felhasználható tápanyagforrásként (Crawford, 2010).

### 3.2.3. Biodiverzitás

A minket körülvevő életformák sokfélesége, a biodiverzitás, körülbelül 3,5 milliárd évnyi evolúció eredményeként alakult ki a Földön. Az 1992-es Biológiai Sokféleség Egyezmény így definiálta: „Biológiai sokféleség a bármilyen eredetű élőlények közötti változatosságot jelenti, beleértve többek között a szárazföldi, tengeri és más vízi-ökológiai rendszereket, valamint az e rendszereket magukban foglaló ökológiai komplexumokat; ez magában foglalja a fajokon belüli, a fajok közötti sokféleséget és maguknak az ökológiai rendszereknek a sokféleségét.” Szerepe létfontosságú, valójában a többi ökoszisztéma szolgáltatás alapjaként szolgál, működő ökoszisztémákat biztosít. Az egyes fajok genetikai variációkészlete lehetővé teszi alkalmazkodásukat a környezetükhöz, magasabb genetikai diverzitású populációkat kevésbé/nem érinti a genetikai sodródás, a beltenyészet, valamint a palacknyak hatás, mely folyamatok kihaláshoz vezethetnek. A taxonómiai diverzitás miatt valósul meg sok szerves és szervetlen anyag körforgása, alakulnak ki a táplálékláncok, valamint jönnek létre társulások; a fajok sokfélesége, azok meghatározott szerepe biztosítja az egyensúlyt az ökoszisztémákban.

Habár a biodiverzitás funkciója vitathatatlan, mégis, emberi hatásra ijesztő ütemben csökken. A fajok mindig is keletkeztek és kihaltak, ennek természetes üteme (a nagy

kihalási hullámoktól eltekintve), azaz a normál kihalási ráta 0,1 E/MSY (extinction/million-species years), míg jelenleg, a Homo sapiens feltűnése óta becsülten 100 E/MSY, azaz 1000-szer nagyobb (Raven és mtsai, 2015). Ennek okai: túlhalászás-vadászás, élőhelyvesztés és –degradáció, invazív fajok, környezetszennyezés, globális klímaváltozás, ökoszisztémák megváltozása, fragmentáció (Jose, 2012).

Az erdőkert a monokultúrás műveléssel szemben diverz élőhelyeket biztosít. A biodiverzitás teremti meg a stabilitást és az ellenálló képességet, javítja a tápanyagok körforgását, fokozza a beporzást, csökkenti az invazív fajok hatását és enyhíti a kártevők és a betegségek nyomását, amelyek mind pozitív hatással vannak erdőkert produkciójára. Az erdőkertek, mint biológiailag sokszínű rendszerek menedéket jelenthetnek egyes veszélyeztetett és védett fajok számára, tájfajták használatával hozzájárulhatnak a genetikai sokféleség megőrzéséhez.

A diverzitás növekedésével nő a rendszer ellenálló képessége és produktivitása is. A különböző fajoknak ritkán van közös károsítója és betegsége; valamint a források maximális kihasználása miatt a fajok különböző ökológiai niche-eket töltenek be. A legtöbb erdőkertben 100-200 növényfaj kap helyet, nagyobb kertekben 500 faj is lehet. Az egyik oka az erdőkertek kiemelkedő diverzitásának, hogy számos idegenhonos faj található bennük. Mind hozzájárulnak a produktivitáshoz, fontos táplálékforrások, csakúgy, mint a szintén idegenhonos termesztett növényeink, a krumpli, paradicsom, bab, dió, stb. Az invazív vá váló fajok súlyos károkat okozhatnak, azonban ennek esélye rendkívül alacsony: a tízes szabály szerint 1000 idegenhonos fajból egy válik özönfajjává (Crawford, 2010). Az intenzív mezőgazdasági rendszerekhez képest az erdőkertek rengeteg őshonos növénynek, és ezen keresztül állatnak adnak otthont.

### 3.3. Kulturális szolgáltatások

A kulturális szolgáltatások nem anyagi természetű előnyök, amelyek elősegítik a szellemi fejlődést, esztétikai élményt nyújtanak, rekreációs és szabadidős célokat szolgálhatnak, vagy lehetnek spirituális és vallási értékek. Az emberi jól-lét szempontjából nem kevésbé fontosak, mint a materiális ökoszisztéma szolgáltatások. Az erdőkertek kulturális szolgáltatásai a következők lehetnek:

- **Közösségi értékek:** erdőkert létesítése és fenntartása során helyi közösségek alakulhatnak ki, az erdőkert személyes találkozások helyszínékként, közösségi térként is funkcionálhat; különböző generációk is kapcsolódhatnak itt.
- **Szellemi fejlődés elősegítése és oktatási értékek:** az ökológia folyamatok és kapcsolatok jól megfigyelhetőek és bemutathatóak; környezeti nevelésre, valamint tudásmegosztásra alkalmas helyszín.
- **Hálózatok:** összeköttetés az erdőkertészkedés és egyéb 'zöld' gyakorlati tevékenységek iránt érdeklődő emberek körével.
- **Rekreáció és kikapcsolódás:** a kertben végzett fizikai munka, a természettel való kapcsolódás, a harmonikus környezet egészségügyi értékkel bír.
- **esztétikai érték:** az erdőkert szépsége ihletet adó környezet lehet művészeti tevékenységek számára.

A pármai Picasso erdőkert példája jól mutatja, hogy ezek a kulturális szolgáltatások tényleg jelen vannak, és nagy potenciált hordoznak. A környéken lakók rendszeresen látogatják a kertet pihenés, szüretelés céljából, számtalan eseményt is szerveztek, amelyek által szélesebb kör megismerkedhetett szociális, ökológiai és fenntarthatósági témákkal. A projekt összekapcsolta az embereket a természettel és egymással, kötődést kialakítva a korábban jelentéktelen, elhanyagolt területtel (Riolo, 2019).

### 3.4. Produktivitás –ellátási szolgáltatások

Az ellátási szolgáltatásba tartoznak mindazok a kézzelfogható termékek, amik közvetlen hasznot jelentenek az ember számára; ilyen az élelem, fa- és rostanyagok, különböző nyersanyagok, ivóvíz, ásványok, genetikai források és természetes gyógyszerek (Hasan és mtsai, 2020). Mindezek a többi ökoszisztéma szolgáltatás eredményeként jönnek létre, azok gyümölcseit jelentik számunkra; ezért ha a szabályozó és fenntartó szolgáltatások hiányoznak az ellátási szolgáltatások mögül, az azt jelenti, hogy külső energia kerül a rendszerbe, hosszútávon nem fenntartható.

Az erdőkertek erőforrásigénye viszonylag alacsony, mivel nem a természetes folyamatokkal szemben, hanem azokkal együtt dolgozik. Az üdemérsékelt övben a leggyakoribb zárótársulás az erdő, így a szukcesszió eredményeként a felhagyott területek is erdővé alakulnak idővel; minél közelebb áll egy termelési rendszer az erdőhöz, annál kevesebb energiát igényel fenntartása. Az intenzív kultúrák művelése ilyen szempontból nem túl gazdaságos, energiamérlegük negatív is lehet; a talajmóztatások, növényvédőszeres, műtrágyák formájában befektetett fosszilis energia akár 3-10-szer több mint a növények által megkötött napfény energiája (Horváth és Rácz, 2011).

Az erdőkertek nagymértékben hozzájárulhatnak az élelmezésbiztonság kialakításához, mivel annak három fő jellemzőjét teljesítik: korábban nem produktív helyen kialakítva növelik az élelmiszer-ellátást; ingyenes, vagy alacsony költségű helyi forrásként növelik az élelmiszer elérhetőségét; valamint tápanyagdús élelmiszerrel növelik a felhasználhatóságot, megelőzve ezzel a hiányos táplálkozás kialakulását (Nytofte és Henriksen, 2019). Az évelő növények kiterjedt gyökérzetüknek köszönhetően jobban ki tudják használni a talajt, ezért termésük tápanyagdúsabb, mint az egyéves növényeké (Crawford, 2010).

Az élelmezésbiztonság szempontjából fontos a táplálékok sokfélesége. Napjainkban mindössze 5 állatfaj és 12 növényfaj teszi ki a globális élelmiszertermelés 75%-át, ami sokkhatás esetén magasfokú sérülékenységet jelent (FAO, 2012). Szélsőséges példa erre az ír burgonyavész esete, amikor a szinte egyedüli táplálékforrás, a burgonya kiesése több mint egymillió ember halálát okozta. Az erdőkertekben természetesen különböző felhasználási arányokkal, de 50-500-féle hasznos növény található. A növények

sokféleségéből fakadó diverz étrend, azon kívül, hogy csökkenti az éhezés esélyét, egészséges is. Az élővilágban a legközelebbi rokonaink, a majmok étrendjébe kb. 200-300 különböző faj tartozik (Crawford, 2010).

Az erdőkertek tényleges hozama kialakítástól és faji összetételtől függően erősen változó lehet. Nytofte és Henriksen (2019) tanulmányukban egy 1991-ben ültetett, 0,08 hektáros skóciai erdőkert élelmiszertermelési potenciálját vizsgálták 7 éven keresztül. Egy hektárra vonatkoztatva a 99 termesztett faj átlagos évi hozama 8913 kg termény, ami 5,188,432 kcal energiát, 123,354 g fehérjét, 104,929 g zsírt, és 1,070,336 g szénhidrátot tartalmaz. A legnagyobb mértékben a gyümölcsök (53%), utánuk a zöldségek (27%) és a bogyósok (14%) járultak hozzá a termés mennyiségéhez, míg a diófélék, fűszernövények, leveles zöldségek és gombák elhanyagolható tömeget tettek ki. A fehérjék elsősorban zöldségekből (49%) és diófélékből (17%) származtak, míg a zsírokat dominánsan a diófélék biztosították. Szénhidrátban gazdag étrendet feltételezve, amiben az energia maximum 60%-a szénhidrátból, 25% zsírból és 15% fehérjéből származik, a vizsgáltéval megegyező fajösszetételű, egy hektárnyi erdőkert 9 nőt vagy 7 férfit tud ellátni szénhidráttal, 5 nőt vagy 4 férfit zsírral és 4 nőt vagy 3 férfit fehérjével. A korlátozó tényező egyértelműen a fehérjék és zsírok mennyisége a szénhidrátokhoz képest, ami azonban a fajösszetétel megváltoztatásával, több dióféle és hüvelyes növény ültetésével növelhető. Elméleti becslések szerint egy hektárnyi erdőkert akár 10 ember élelmiszer szükségleteit is biztosíthatja. Bodó (2013) szerint megfelelő tervezéssel már egy 200 m<sup>2</sup>-es erdőkert is képes fedezni egy ember évi vitamin- és ásványianyag szükségletét, a B12 vitamin kivételével (Björklund és mtsai, 2019).

Összességében mérsékelt éghajlaton kevés erdőkert képes megtermelni a teljes önellátáshoz szükséges javakat, de sok esetben az élelmezés 70%-a fedezhető az erdőkertből származó élelmiszerekből. Ez leginkább a tulajdonosok táplálkozási kultúrájától és szokásaitól függ, gyümölcssevők (fruitariánusok), vagy dzsainák (akik csak gyümölcsöt és magot esznek, a növények életét nem veszélyeztetik) számára teljes mértékben megvalósítható az önellátás (Vargas Poveda, 2016).

A magas szénhidrát tartalmú és így energiadús termények sok napfényt igényelnek, árnyékban hatékonyan nem termesztethetők. A fásszárúak közül a rizshez hasonló

összetételű szelídgesztenye (*Castanea sativa*) részben helyettesítheti a gabonafélékből, burgonyából nyerhető szénhidrátokat. Széles körben elterjedt zöldségnövényeink jó része a Mediterráneumból vagy Közép-Amerika meleg vidékeiről származik, így alapvetően fényigényesek, csak az erdőkert tisztásain, naposabb részein érdemes termesztésbe vonni őket (Crawford 2010). Zöldségesek integrálása mellett – melyek ugyan nem az erdőkert szerves részei, de annak előnyeit (pl. kártevők kontrollja, mikroklíma) élvezik – extenzív módon szárnyasokat is tarthatunk az erdőkertben. Az egyéb termelhető javak sokfélék lehetnek: gyógy- és fűszernövények, tűzifa, tuskókon termesztett gombák, póznák, vesszőanyag kosárfonáshoz, festőnövények, kötözőanyagok, szappankészítésre alkalmas növények, méz (Crawford, 2010).

A kereskedelmi célú erdőkerteknek érdemes szakosodniuk bizonyos termékekre a nagyobb költséghatékonyság érdekében. Az ilyen vállalkozások egyelőre meglehetősen ritkák, azonban van lehetőség bennük. A betakarítás időigényes és fárasztó munkáját önkéntesek segíthetik, esetleg szedd-magad rendszerek alakíthatóak ki. Mindkét módszer segíthet az erdőkertek népszerűsítésében, a tudásmegosztásban. A szüretelést még könnyebbé teheti, ha az egyszerre érő növényeket egymás közelébe ültetjük. A termékek helyi üzleteken keresztül, vagy termelői piacokon közvetlenül a vásárlóknak értékesíthetőek, kihagyva ezzel az ellátási lánc költségeit és környezeti terhelését (Vargas Poveda, 2016).

Az erdőkert tervezés során a két legfontosabb hozamnövelő eljárás a niche felosztás és a növénytársítás. Amennyiben eltérő gyökérszerkezetű és magasságú fajokat vegyítünk, a növények a napfényt és a talajban található tápanyagokat hatékonyabban hasznosítják. Az erőforrások eltérő használata miatt a fajok közti kompetíció minimálisra csökken, így produktivitásuk nő, míg a fajok közötti előnyös kölcsönhatások segítenek megőrizni a rendszer egészségi állapotát.

#### 4. Következtetés

A jelenleg elterjedt intenzív mezőgazdasági műveléssel szemben az erdőkertekben számos ökoszisztéma szolgáltatás megvalósul. Az egészséges talaj, magas biodiverzitás, a természetes tápanyagkörforgás lehetővé teszi az erózió kontrollját, a vízmegtartást,

szénmegkötést, kártevők szabályozását, hozzájárulnak a klíma szabályozásához. Kulturális szolgáltatásaik révén segíthetnek közösségek formálásában, szociális színtérként szolgálhatnak, ezáltal is előmozdítva az emberi jól-létet. Mindemellett kiemelkedő az erdőkertek produktivitása, így fenntartható alternatívát jelentenek az élelmiszertermelésben. A természetes ökoszisztémákhoz hasonlóan rugalmas, ellenálló rendszerek, ami a klímaváltozás szempontjából fontos tulajdonság. Általánosságban decentralizált és emberléptékű mivoltuknál fogva növelik az élelmezés-biztonságot. Az erdőkertek magyarországi elterjedéséhez szükség lenne a tervezésben segítséget nyújtó magyar nyelvű irodalomra, bemutatókertekre; valamint a témával foglalkozó kutatásokra is nagy igény lenne.

## Összefoglalás

A természetes ökoszisztémák elpusztításával, a mezőgazdaság térnyerésével az ember a saját hasznára formálta át a Föld felszínét. Azonban a mesterséges és külső energiaforrással fenntartott intenzív művelésű rendszerek élelmen kívül nem biztosítják kellő mértékben az ember létéhez szükséges ökoszisztéma szolgáltatásokat, melyek bioszféránk egyensúlyához is nélkülözhetetlenek. Az évelő, polikultúras, többszintes erdőkertek erre adhatnak megoldást: produktívak, ugyanakkor természetesen működnek. Az erdőkhöz hasonlóan számos ökoszisztéma szolgáltatást biztosítanak, mérsékelhetik a klímaváltozást. Az egészséges talaj, magas biodiverzitás, és a természetes tápanyagkörforgás lehetővé teszi az erózió kontrollját, a vízmegtartást, szénmegkötést, beporzók megőrzését, kártevők szabályozását, hozzájárul a klíma szabályozásához. Kulturális szolgáltatásaik révén szerepük lehet közösségek formálásában, szociális színtérként szolgálhatnak, ezáltal is előmozdítva az emberi jól-létet. Az erdőkertek tervezése nem egyszerű feladat, azonban fenntartásuk nem igényel sok energiát. Az erdőkertekben az ember és természet harmonikus együttélése valósulhat meg.



## Abstract

With the destruction of natural ecosystems and the spread of agriculture, man has transformed the surface of the Earth for his own benefit. However, artificially maintained and external energy dependent intensive cultivation systems do not provide ecosystem services appropriately. Ecosystem services are necessary for human existence, and also essential for the balance of our biosphere. Perennial, polycultural, multi-storey forest gardens can provide a solution to this problem: they are productive, but at the same time they work naturally. Like forests, they provide many ecosystem services and can mitigate climate change. Through their healthy soil, high biodiversity, and the natural nutrient cycle most of the regulation services may come true: erosion control, water retention, carbon sequestration, pollination maintenance, pest control, and climate control. Through their cultural services, they can play an important role in shaping communities, thereby also promoting human well-being. Designing forest gardens is not an easy task, but maintaining them does not require much energy. In forest gardens, the harmonious coexistence of man and nature can be realized.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Standovár Tibornak és Mag Zsuzsának, akik türelmesen, szakértelmükkel segítették a dolgozat létrejöttét.

## Irodalomjegyzék:

Bale, J. S., Van Lenteren, J. C., & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 761–776. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>

- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, *12*(12).  
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Björklund, J., Eksvärd, K., & Schaffer, C. (2019). Exploring the potential of edible forest gardens: experiences from a participatory action research project in Sweden. *Agroforestry Systems*, *93*(3), 1107–1118. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0208-8>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. Van, Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, *8*(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brosofske, K. D., Mroz, G. D., Brookshire, B. L., & Franklin, J. F. (1999). Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, *49*(4), 288–297.  
<https://doi.org/10.2307/1313612>
- Crawford, M. (2010). *Creating a Forest Garden. Working With Nature to Grow Edible Crops*. Cambridge, UK: Green Books.
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D. A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellen, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C. D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G. M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F. S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M. A., ... Verheyen, K. (2013). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(46), 18561–18565.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>
- Duan, X., Shi, X., Li, Y., Rong, L., & Fen, D. (2017). A new method to calculate soil loss tolerance for sustainable soil productivity in farmland. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0409-3>
- Duffy, K. A., Schwalm, C. R., Arcus, V. L., Koch, G. V., Liang, L. L., & Schipper, L. A. (2021). How close are we to the temperature tipping point of the terrestrial biosphere? *Science Advances*, *7*(3), 2375-2548. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay1052>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012. Smallholders and Family Farmers  
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability\\_pathways/docs/Factsheet\\_SMALLHOLDERS.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/Factsheet_SMALLHOLDERS.pdf)

- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29(2), 189–217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
- Herder, M. Den, Burgess, P., Mosquera-losada, M. R., Hartel, T., Upson, M., Viholainen, I., Rosati, A., Corroyer, N., Hermansen, J. E., Mirck, J., Palma, J., Pantera, A., Papanastasis, V., Plieninger, T., & Vityi, A. (2015). *Preliminary stratification and quantification of agroforestry in Europe*. April, 55. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4258.4482>
- Horváth, B., Rácz, É. V. (2011). Az ember megjelenése a bioszférában. A hódítások kora. Domonkos, E. *Ökológia* 103.o. [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021\\_Okologia/ch06s05.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Okologia/ch06s05.html)
- Jose, S. (2012). Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9517-5>
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lehmann, L. M., Lysák, M., Schafer, L., & Henriksen, C. B. (2019). Quantification of the understorey contribution to carbon storage in a peri-urban temperate food forest. *Urban Forestry and Urban Greening*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.06.002>
- Makarieva, A. M., & Gorshkov, V. G. (2009). Reply to A. G. C. A. Meesters et al.'s comment on "biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land." *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1307–1311. <https://doi.org/10.5194/hess-13-1307-2009>
- Nytofte, J. L. S., & Henriksen, C. B. (2019). Sustainable food production in a temperate climate – a case study analysis of the nutritional yield in a peri-urban food forest. *Urban Forestry and Urban Greening*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.009>
- Ollerton, J. (2017). Pollinator Diversity: Distribution, Ecological Function, and Conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 353–376. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919>
- Overpeck, J., Garfin, G., Jardine, A., Busch, D. E., Cayan, D., Dettinger, M., Fleishman, E., Gershunov, A., MacDonald, G., Redmond, K. T., Travis, W. R., & Udall, B. (2013). Summary for decision makers. In *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-484-0\\_1](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-484-0_1)

- Park, H., Turner, N., & Higgs, E. (2018). Exploring the potential of food forestry to assist in ecological restoration in North America and beyond. *Restoration Ecology*, 26(2). <https://doi.org/10.1111/rec.12576>
- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s100219900035>
- Quinton, J. N., Govers, G., Van Oost, K., & Bardgett, R. D. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/ngeo838>
- Raven, P. H., Roberts, C. M., & Sexton, J. O. (2015). *The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection*. 344(6187). <https://doi.org/10.1126/science.1246752>
- Riolo, F. (2019). The social and environmental value of public urban food forests: The case study of the Picasso Food Forest in Parma, Italy. *Urban Forestry and Urban Greening*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.002>
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M. M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W. W., Winqvist, C., Woltz, M., & Bommarco, R. (2016). Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- Schafer, L. J., Lysák, M., & Henriksen, C. B. (2019). Tree layer carbon stock quantification in a temperate food forest: A peri-urban polyculture case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126466>
- Silva Parra, A., Mogollón Ortiz, Á. M., & Delgado Huertas, H. (2018). Soil microbiota: Influence of different land use patterns and soil management factors at Villavicencio Oxisol, East Colombia. *Biota Colombiana*, 18(2), 1–11. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18.n02.a1>
- Tylianakis, J. M. (2013). The global plight of pollinators. *Science*, 340(6127), 1532–1533. <https://doi.org/10.1126/science.1235464>
- Vanbergen, A. J., Garratt, M. P., Vanbergen, A. J., Baude, M., Biesmeijer, J. C., Britton, N. F., Brown, M. J. F., Brown, M., Bryden, J., Budge, G. E., Bull, J. C., Carvell, C., Challinor, A. J., Connolly, C. N., Evans, D. J., Feil, E. J., Garratt, M. P., Greco, M. K., Heard, M. S., ... Wright, G. A. (2013). Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251–259. <https://doi.org/10.1890/120126>
- Vargas Poveda, C. (2016). *Annex 1: Forest Garden Archetypes Booklet*. <http://permakultur-danmark.dk/wp-content/uploads/2012/11/FGA-Booklet.-Annex-1.pdf>

Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. In *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>

Zattara, E. E., Aizen, M. A. (2021). Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth*, 4(1), 114-123.  
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.005>

url1: [http://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0008.html](http://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html)

url2: [https://www.researchgate.net/figure/The-AGFORWARD-project-is-promoting-agroforestry-practices-ie-the-integration-of-trees\\_fig1\\_275647662](https://www.researchgate.net/figure/The-AGFORWARD-project-is-promoting-agroforestry-practices-ie-the-integration-of-trees_fig1_275647662)

url3: <http://tcpermaculture.com/site/2013/05/27/nine-layers-of-the-edible-forest-garden/#prettyPhoto>

url4: <https://www.agroforestry.co.uk/product/fffg-symposium/>

url5: [http://elotiszaert.hu/wp-content/uploads/2020/01/arteri\\_gyumolcseszett01.pdf](http://elotiszaert.hu/wp-content/uploads/2020/01/arteri_gyumolcseszett01.pdf)

url6: <https://permakultura.hu/noe-barkaja/>

url7: <https://zoldzengobirtok.eu/>

url8: <https://www.permaforum.hu/permaforum/index.php/blog/tags/tag/erdokert>

url9: <https://www.permaforum.hu/permaforum/index.php/blog/entry/viragevkoer-a-kertben>

url10: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/491/49162495001/html/index.html>