

SZAKDOLGOZAT

FAIK ANDREA

Mezőgazdasági mérnöki BSc

Kaposvár

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Kaposvári Campus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Mezőgazdasági mérnöki BSc

**Precíziós technológiák hatása közepes méretű szántóföldi
növénytermesztést végző gazdaságok környezetterhelésére**

Belső konzulens: Lukács Aurél István
egyetemi docens

Készítette: **Faik Andrea**
N01SQ5
nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és
Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Kaposvár

2025

Tartalomjegyzék

Tartalom

1. Bevezetés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1 Fogalmak.....	4
2.2 Precíziós mezőgazdaság.....	4
2.3 Ökológia, agroökoszisztémák.....	5
2.4 A természetes és az agroökoszisztémák közti különbségek.....	5
2.5 Technológiai javaslatok.....	6
2.6 A fenntarthatóság mérése.....	7
2.7 Az ökológiai lábnyom definíciója.....	8
2.8 Ökológiai lábnyom összetevői.....	10
2.9 Ökológiai túllövés.....	11
2.10 Ökológiai lábnyom hibái.....	12
3. Anyag és Módszer.....	15
3.1 Ökológiai lábnyom számítása.....	15
3.2 Az ökológiai lábnyom földhasználati kategóriái.....	17
3.3 A vizsgált gazdaságok bemutatása.....	19
4. Eredmények.....	20
5. Következtetések és javaslatok.....	32
6. Összefoglalás.....	35
7. Irodalomjegyzék.....	36
8. Köszönetnyilvánítás.....	39

1. Bevezetés

A fenntartható fejlődés a globális klímaváltozás hatására egyre hangsúlyosabban jelenik meg témaként a mindennapokban is. Ez igazán fontos éppen azért, mert az ezzel kapcsolatos korábbi tudatlanságot fokozatosan felváltja a társadalom növekvő környezettudatossága.

Ha a Földfelszín területének megoszlását tekintjük, amely összesen 51 milliárd ha, ennek területéből 13,1 milliárd ha szárazföld, melyből 8,9 milliárd ha termékeny terület, 1,5 milliárd ha pedig vadon. Ennek eredményeként a használható terület 7,4 milliárd hektárt jelent. A Földnépesség meghaladja a 8 milliárdot, így amennyiben mindenkinek ugyanannyi föld jutna, 0,925 ha/főt kapnánk eredményül. A Global Footprint Network évről évre számításba veszi a Föld biológiai kapacitását, valamint az emberiség ökológiai lábnyomát, majd összehasonlítja azokat. Figyelembe véve bolygónk biológiailag produktív területét, ami 12,2 milliárd hektárnyi, emellett 2023-ból a Föld népességére vonatkozó adatot, amely 8,1 milliárd volt, a Földön a biológiai kapacitás mértéke egy főre számolva 1,5 globális hektárt jelentett. Azonban az emberiség olyan javakat és szolgáltatásokat követel meg a természettől, amelyek megújulásához 2023-ig 20,8 milliárd globális hektárra van szükség. Ez több mint a bolygón elérhető 12,2 milliárd globális hektár biológiailag produktív terület. A túlzott kereslet azt jelenti, hogy az emberiség mára 1,7-szer többet használt fel, mint amennyit a bioszféra jelenleg megújít. Ez azt jelenti, hogy a jelenlegi fogyasztásunkhoz 1,7 Földre lenne szükség. Az ökológusok becslése szerint ahhoz, hogy fenntartsuk az egészséges biodiverzitást és éghajlatot, az embereknek nem lenne szabad a Föld biokapacitásának több mint a felét igénybe venniük. Ez több mint háromszor kevesebb a jelenlegi igénynél. A Túlfogyasztás Napja jelzi azt az időpontot, amikor az emberiség kimerítette a természet éves „költésvetését”. Az év hátralevő részében a túlfogyasztás a jellemző, abban működünk, ökológiai deficitben élünk. Ekkor feléljük helyi erőforráskészleteinket, szén-dioxidot halmozunk fel a légkörben. Ennek már egy évtizede látható jeleit vehetjük szemügyre. Ilyen például a sivatagosodás, a talajok degradációja, a diverzifikáció csökkenése vagy a véges természeti erőforrások kimerülése. Ezeknek eredményeként bolygónk eltartóképessége is csökken. Problémát jelent az is, hogy a népességnövekedés együttjár a fogyasztás növekedésével is. Ebből az étel- és élelmiszerfogyasztást emelném ki, aminek összességében az egyik legnagyobb hatása van környezetünk terhelésére. Ehhez ugyanis földterületet, energiát használnak fel, közben üvegházhatású gázok kibocsátása történik meg. Emellett a fogyasztás során az is jelentős, hogy rengeteg élelmiszermaradék keletkezik, amely a hulladéktermelést növeli, nincs kiépítve erre egy fenntarthatóbb rendszer.

Ezt értelmezve megállapítható, hogy a szántóföldi növénytermesztésnek nagymértékű szerepe van a környezetterhelésben. Azt, hogy hogyan tudnánk csökkenteni ezt a mértéket ezért is célszerű vizsgálni. A fenntarthatóság számításának módszereivel érhetjük el, hogy szemléltessük a környezetre történő hatásokat, számszerűsítsük a környezetre gyakorolt hatásokat, ami alapot adhat a környezetterhelés mérséklésére irányuló megoldások kidolgozásához.

Célkritizálás

Szakedolgozatom célja, hogy két különböző technológiai szinten működő, szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozó gazdaság – egy hagyományos és egy precíziós gazdálkodást alkalmazó gazdaság – ökológiai lábnyomának számításán keresztül összehasonlítsam környezeti terhelésüket. A vizsgálat során arra keresem a választ, hogy a precíziós technológiák alkalmazása milyen mértékben járulhat hozzá a fenntarthatóbb mezőgazdasági termeléshez, illetve csökkentheti-e a gazdaságok természetére gyakorolt hatását.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 Fogalmak

Fenntartható fejlődés: olyan fejlődés, ami biztosítja a jelen generációk szükségleteinek kielégítését anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációinak erőforrásait. (Sándorné, 2023)

Fejlődés: az egyének, közösségek, nemzetek és az emberiség életminőségének javítása, amely harmonikusan ötvözi a gazdasági, társadalmi és környezeti szempontokat. (Sándorné, 2023)

Fenntarthatóság: az a képesség, hogy a jelenlegi generáció úgy használja erőforrásait, hogy azok a következő generációk számára is elegendő mennyiségben és megfelelő minőségben rendelkezésre álljanak. (Sándorné, 2023)

2.2 Precíziós mezőgazdaság

„A precíziós mezőgazdaság olyan irányítási stratégia, ami összegyűjti, feldolgozza és elemzi az időbeli, térbeli, és egyedi adatokat és más információkkal kombinálja, hogy a becsült változékonyság alapján támogassa a gazdálkodói döntéseket a mezőgazdasági termelés hatékonyabb erőforrás-felhasználása, termékenysége, minősége, jövedelmezősége és fenntarthatósága érdekében.” (ISPA, 2019)

A precíziós mezőgazdaság a digitális technológiák alkalmazásával próbálja növelni a termelékenységet, miközben csökkenti a környezetterhelést. Ennek egyik fő eszköze a változó dózisú inputok használata, amelyek lehetővé teszik, hogy a növénytermesztés a helyspecifikus adottságokhoz igazodjon. (Berzsenyi, 2024)

A hagyományos mezőgazdasággal szemben a precíziós technológia nem az egész táblára vonatkozóan határozza meg a termesztési módszereket, hanem kisebb területekre lebontva, ahol figyelembe veszi a talaj és a növényzet változatosságát. Ez egy rendszeralapú megközelítés, amely optimalizálja a gazdálkodás környezeti és ökológiai előnyeit. (Berzsenyi, 2024)

A precíziós mezőgazdaság technológiai két fő csoportba sorolhatók:

1. Pontosságot biztosító technológiák – Ilyen a GNSS (Global Navigation Satellite System) és a GIS (térinformatikai rendszer), amelyek lehetővé teszik a precíziós gazdálkodást. (Berzsenyi, 2024)
2. Produktivitást növelő technológiák – Ilyenek például a változó dózisú technológiák, amelyek az erőforrások hatékonyabb felhasználását célozzák. (Berzsenyi, 2024)

A precíziós mezőgazdaság előnyei közé tartozik a termelési költségek csökkentése, a hozamnövelés és a fenntartható gazdálkodás megvalósítása. (Berzsenyi, 2024)

A gazdálkodó számára lehetőség nyílik arra, hogy mérhessen, analizálhasson, foglalkozzon a táblán belül levő változatossággal. Ebben mikroprocesszorok, szenzorok segítenek. (Berzsenyi, 2024)

2.3 Ökológia, agroökoszisztémák

A mezőgazdaság jelentős hatással van a környezeti változásokra, mivel hozzájárul a talajerózióhoz, a biodiverzitás csökkenéséhez és az üvegházhatású gázok kibocsátásához. A fenntartható mezőgazdaságnak az a célkitűzése, hogy azokat a technológiákat alkalmazza, amelyek csökkentik a környezetkárosító hatásokat, miközben biztosítják a termelés hosszú távú fenntarthatóságát. Az ökológia vagy más néven környezettan, a környezet és az élőlények viszonyát vizsgálja. Az agroökológia az ökológiai rendszerek működését vizsgálja az ember által átalakított mezőgazdasági környezetben. Ezen felül az ökológiai rendszer az ökoszisztéma, amibe beletartoznak az élőlények, az élettelen környezetük és ezek kapcsolatai. Az ökoszisztéma táplálkozási szintekből áll, ezek pedig a fogyasztók, termelők, lebontó szervezetek, valamint az abiotikus környezet. (Berzsenyi, 2024)

Az agroökoszisztémák – a természetes ökoszisztémáktól eltérően – emberi manipulációval működnek, és céljuk egy adott növény- vagy állatállomány optimális termesztése, tenyésztése. Sok egymással kölcsönhatásban levő egységből állnak: talaj, termesztett növény, környezet, amit a gazda szabályoz és több más biotikus elem. A modern növénytermesztésnél a természetes növényi közösségeket helyettesítették a mesterségesen támogatott növényi közösségekkel. Az ökoszisztémák megváltoztatásával és az emberi beavatkozásokkal egyetemben a modern agroökoszisztémák leegyszerűsödtek, olyan mértékben, hogy a természetes ökoszisztémákhoz képest mind szerkezetileg, mind funkcionálisan eltérnek. A monokultúrával elveszett a természetes növényi közösségek önszabályozó képessége. Így tehát az agroökoszisztémák rendszerszintű változást igényelnek. (Altieri és mtsai, 2005)

2.4 A természetes és az agroökoszisztémák közti különbségek

- A mezőgazdaság külső energiabevitelt igényel (pl. műtrágyák, peszticidek, fosszilis energiahordozók).
- A biodiverzitás általában alacsonyabb, mivel a termesztés egy adott növényfajra összpontosít.

- A talaj tápanyagtartalmának pótlása mesterséges úton történik, mivel a betakarítás során a természetes tápanyagkörforgás megszakad. Sok esetben a növényi maradványok a természetben felhalmozódnak a talajon és a lebontó táplálékláncot táplálják. Így növényi tápelemeket szabadít fel a körforgáshoz, valamint az autotróf szervezetek általi újrahasznosításhoz. A növénytermesztésnél viszont növényi maradvány sokkal kisebb számban vagy egyáltalán nem marad a talajon. Ha viszont forgatás nélküli, minimális művelést alkalmazunk, a maradványok a talajon maradnak.
- A természetes ökoszisztémák önfenntartók, míg az agroökoszisztémák folyamatos emberi beavatkozást igényelnek.
- A növénytermesztési ökoszisztémák nagy mennyiségű tápelem-inputokat igényelnek. Főként azért, mert a betakarított növényi részekkel a tápelemek nagy mennyiségét is eltávolítjuk. A tápelemek körforgása elenyésző. (Berzsényi, 2024)

A klímaváltozás miatt elengedhetetlen, hogy a mezőgazdaság alkalmazkodjon az új környezeti feltételekhez, csökkentse a káros kibocsátásokat és fenntartható technológiákat alkalmazzon. (Berzsényi, 2024)

A szántóföld az év nagy részében mentes a növényzettől, nem fedi a talajt növényzet. Azonos feltételek mellett a biomassa mennyisége a természetben sokkal nagyobb, mint az agroökoszisztémában. A termelést tekintve az intenzív gazdálkodás megközelíti a természetét, esetleg meg is haladja azt. Ez viszont csak kiegészítő energiabevittel valószínűsíthető meg. Emellett a növénytermesztési ökoszisztéma nem olyan rugalmas, mint a természetes ökoszisztéma. (Altieri és mtsai, 2005)

A fenntarthatóságot nézve azt mondhatjuk, hogy a természetes ökoszisztémák fenntarthatóak, dinamikus az egyensúly és ha zavar lép fel, akkor visszanyeri eredetihez közeli állapotát elegendő idővel. Ezzel szemben a növénytermesztési ökoszisztéma folyamatos emberi beavatkozással tartható csak fenn könnyen rendelkezésre álló energiával és más forrásokkal. (Berzsényi, 2024)

2.5 Technológiai javaslatok

A klímaváltozás egyre vitatottabb téma a társadalomban. Az agroökoszisztéma nagymértékben változik, ezért nagyon fontos, hogy előrejelezzük a hatásokat, tanulmányozzuk, milyen módszerrel enyhíthetjük a klímaváltozás hatásait. (Semeraro és mtsai, 2023)

A rendszernek alkalmazkodnia kell a klímaváltozáshoz, tehát a következményeket előre kell jelezni, a lehetőségek előnyét ki kell használni és a lehetséges kártételt csökkenteni kell. Azonban számolnunk kell korlátozó tényezőkkel is. (Semeraro és mtsai, 2023)

Továbbá az adaptáción kívül a kibocsátást is mérsékelnünk kell. Az enyhítési stratégiákkal csökkentjük az üvegházhatású gázok kibocsátását, a klímaváltozás hosszútávú hatásait az emberi javakra, életre. Rengeteg ilyen lehetőség van, például az előállításához nagy energiát igénylő inputanyagok felhasználásának mérséklése. Ilyen inputanyagok minősülnek a szintetikus nitrogénműtrágyák. Növelni kell a műtrágyák felhasználásának hatékonyságát. A VRT, azaz a változó dózisz technológia a precíziós növénytermesztés eszköze. A VRT alkalmazása során kialakítanak menedzsment zónákat a táblákon belül, ezeken vizsgálják a talajt, majd az eredmények alapján juttatják ki a megfelelő mennyiségű műtrágyát. (Berzsenyi, 2024)

Az újratervezett gazdálkodási rendszerekben nem elég az, hogy egyetlen gyakorlatot bevezetnek (vetésforgót, komposztálás, takarónövényzet), hanem az agroökológiai elvek alapján kell működni. Ezeket az elveket különféle gyakorlatokon, stratégiákon lehet alkalmazni. Mindegyiknek különböző hatása lesz a termelékenységre, stabilitásra, ellenálló képességre. Az agroökológiai gazdálkodás segíti az optimális tápanyag-körforgást, a szervesanyag-forgalmat, talajbiológiai aktiválást, víz-, talajmegőrzést, illetve kiegyensúlyozott kártevő és természetes ellenség populációhoz vezet. Nagy kihívást jelent a mezőgazdasági rendszerek és az ökológiai elvek összehangolása, viszont mindenképpen előnyös. (Altieri és mtsai, 2005)

2.6 A fenntarthatóság mérése

A fenntarthatóság mérésére különböző indikátorrendszereket dolgoztak ki, amelyek környezeti, gazdasági és társadalmi szempontokat egyaránt figyelembe vesznek. (Taksás, 2023)

Fontos indikátortípusok:

1. Relatív mutatók (viszonyszámok) – Mivel a fenntarthatóság relatív fogalom, gyakran alkalmaznak fajlagos mérési módszereket (pl. egy főre jutó erőforrás-felhasználás).
2. Dinamikus indikátorok – Mivel a fenntarthatóság jövőorientált, szükséges a hosszú távú trendek vizsgálata is. Fontos szerepük van a dinamikus indikátoroknak, amik intervallumon belüli vagy időszakok közötti változást értékelnek, míg összetettebb rendszerek esetén a trendszámítási módszerek is előtérbe kerülnek.

3. Bemeneti (input), kimeneti (output) és hatásalapú (outcome) indikátorok – Ezek együttes használata biztosítja a teljes körű értékelést. Bár mindhárom fontos, a jövőorientáltság miatt az outcome-indikátorok a legfontosabbak. Ugyanakkor általában ezeknek mérése, valamint gyakorlati alkalmazása kihívást jelent. (Taksás, 2023)

A fenntarthatósági mérések egyik legismertebb mutatója az ökológiai lábnyom, amely azt vizsgálja, hogy egy adott életmód vagy gazdasági tevékenység mennyire terheli a természetet. Az ökológiai lábnyom kiszámításakor összevetik az emberi fogyasztásból adódó erőforrásigényt a Föld biológiai kapacitásával. (Taksás, 2023)

SDG-célok (Fenntartható Fejlődési Célok)

A fenntarthatóság mérésére az ENSZ 17 fő célkitűzést (SDG – Sustainable Development Goals) fogalmazott meg, amelyek az éghajlatváltozástól az élelmezésbiztonságig számos területet lefednek. Ezekhez az alcélokhöz különböző indikátorokat rendelnek hozzá, amelyek segítenek a fenntarthatósági teljesítmény nyomon követésében. (Taksás, 2023)

A számos mutató miatt a mérési rendszerek könnyen áttekinthetlenné válhatnak, emiatt az adatokat gyakran kisszámú vagy akár egyetlen kompozit mutatóvá alakítják. Ezek előnye az átláthatóság, viszont hátránya, hogy komoly szaktudást igényel a kialakításuk, emellett hibás alkalmazásuk téves következtetésekhez vezethet. (Taksás, 2023)

Mindegyik módszernek vannak előnyei, de egyik sem képes kifejezni azt a feltételt, ami a fenntarthatósághoz kell, hogy adottak a lehetőségeink, adott a bolygó, amin élünk és itt kell kialakítani a különböző életformáinkat. Éppen ezért, a fenntarthatóságra alapozva kialakították az ökológiai lábnyomot, ami a mutatók közt megállja a helyét szemléletességével, viszonylagos egyszerűségével és alkalmazhatóságával. (Fleischer, 2014)

2.7 Az ökológiai lábnyom definíciója

A fenntarthatóság mérésének egyik módja. Mérhetjük azt, hogy az emberek mennyire függenek a természeti erőforrásoktól. Mindezt úgy, hogy számoljuk azt, hogy egy adott életmód fenntartásához mennyi területre van szükség. A természet kínálatával szemben a keresletet méri. Arra utal, hogy a lakosság képes-e eltartani magát a jelenben a jövő veszélyeztetése nélkül. (online1)

Tehát azt méri, hogy ahhoz, hogy kielégítsük az emberi igényeket, bolygónk élővilágát mennyire használjuk fel. Ezt összeveti a biokapacitással, az újraképződő bioprodukttal.

Beszélhetünk sokdimenziós emberi fogyasztási összetevőkről, mint például az energia, az élelmiszer, a biomassa, a nyersanyag, a víz vagy a szén-dioxid semlegesítés. Ezekből a számítás során egy dimenzió lesz, így összehasonlítható számok, dimenziók keletkeznek. A lábnyom egy főre való kiszámításával érzékeltethetjük a különböző emberek, csoportok vagy nemzetek életvitelét, valamint a konzumot, amit egymáshoz lehet hasonlítani. Vagy a Földön egy főre rendelkezésre álló átlagos területhez is hasonlíthatjuk, emellett ugyanígy az adott országban rendelkezésre álló területhez is. (Fleisher, 2014)

Az ökológiai lábnyomot kiszámolhatjuk különböző populációkra, személyekre, városokra, régiókra, országokra vagy a bolygóra nézve is. (online1)

Az ökológiai lábnyom globális hektár/fő (gha/fő) mértékegységben kifejezett mutató. Ez a mértékegység nem a ténylegesen használt földterületet jelenti, hanem ez egy hipotetikus térség, amit az átlagos univerzális hozamok szerint számolnak ki (Csutora, 2011).

Ez egy egységes átlagos hektár, ami lehetővé teszi a különböző földterületek összehasonlítását, viszont a hatékonyságát a termelésnek nem adja vissza megfelelően. Kijelenthető, hogy ez a mértékegység a fogyasztást veszi centrumnak, emiatt nem pontos, nem adekvát a termelési hatékonysággal szemben. Viszont meg tudja ragadni a fogyasztásban rejlő különbségeket (Csutora, 2011).

A számítás alapelve, hogy az emberi fogyasztást földterületként jeleníti meg. A különféle területtípusokat – például szántókat, legelőket, erdőket, tengereket és infrastrukturális területeket – gha-ban fejezi ki, mivel biológiai produktivitásuk eltérő. Ennek megfelelően egy hektárnyi terület különböző módon reprezentálódik: 0,3 hektár termőföldnek, 0,6 hektár erdőnek, 2,7 hektár legelőnek vagy éppen 16,3 hektár átlagos tengeri területnek felel meg (Ertsey, 2004).

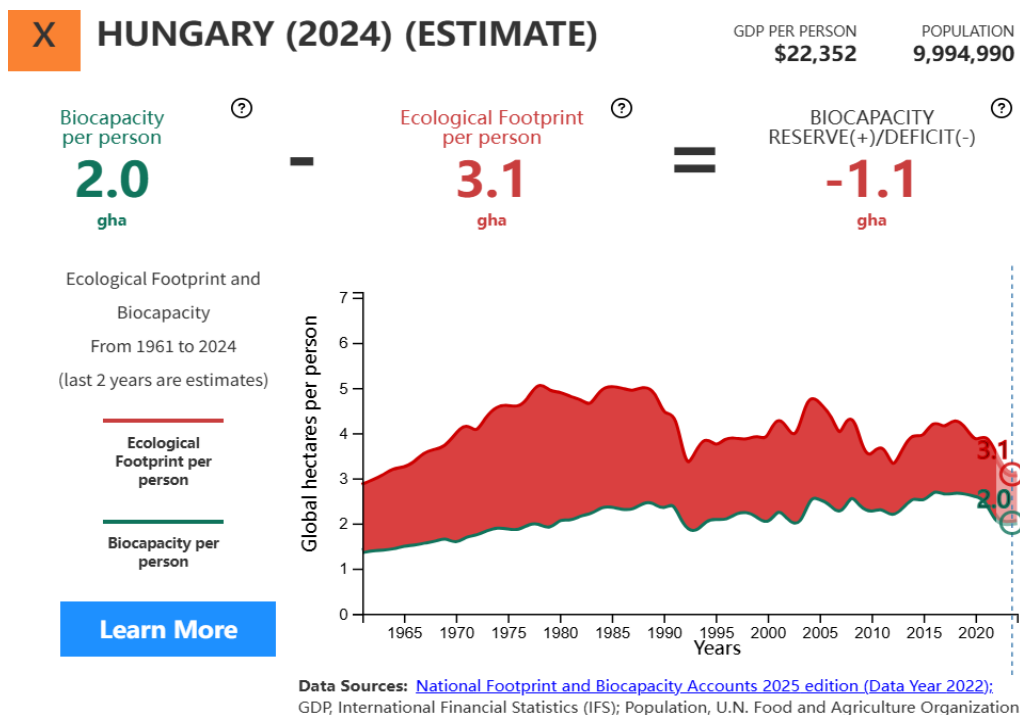
Eltérő hozamokat lehet elérni egy adott évben a hozzáférhető termékeny föld- és vízterületekkel. Ennek két fő oka van. Az egyik az eltérő földhasználati módok alapvetően eltérő hozama. Ezeket lehet korrigálni a különböző használati módok paramétereivel. (Fleisher, 2014)

Az ökológiai lábnyomokat ellensúlyozhatja a biokapacitás, ami egy biológiailag produktív terület (szántóföld, legelő, erdő, illetve halászterület) azon képessége, hogy folyamatosan megújuló energiaforrásokat termel és megtisztítja hulladékait. Egy terület akkor tekinthető fenntarthatatlannak, ha az ökológiai lábnyoma nagyobb, mint a biokapacitása. (online1)

Ha a biológiai kapacitás és az ökológiai lábnyom közti különbséget kiszámítjuk, az eredményül kapott érték rávilágít arra, hogy a túllépés milyen mértékben veszélyezteti a következő generációk jólétét, más országok helyzetét, illetve szufficit esetén mennyire van még lehetőség igényeink bővítésére (Csutora, 2011).

Az emberiség ökológiai lábnyoma sajnos több éve meghaladja bolygónk biológiai kapacitását. Ez annak köszönhető, hogy bár a Föld rendelkezik tartalékokkal, ezeknek felélése már elkezdődött. Az MIT számításai alapján ezek a készletek 15 éven belül kimerülhetnek, ami a világgazdaság összeomlásához vezethet. Ugyanakkor a folyamat még visszafordítható, ha sikerül mérsékelni a népesség növekedését, a húsfogyasztás emelkedését, valamint a gazdasági növekedést (Graham, 2014).

Magyarország biokapacitása személyenként 2024-re becsült értékek alapján 2 gha, míg az ökológiai lábnyoma 3,1 gha. Ha ezeknek a különbségét tekintjük, eredményül -1,1 gha-t kapunk, tehát az országban is deficitet állapíthatunk meg. (Global Footprint Network, 2025)



1.ábra: Global Footprint Network: Magyarország ökológiai lábnyoma és biokapacitása az évek során

2.8 Ökológiai lábnyom összetevői

Hatféle földhasználati típust határoz meg az ökológiai lábnyom:

- Szántóföldek: ide azok a területek tartoznak, amik a mezőgazdasági növények termesztésére, előállítására szolgálnak.
- Legelők: állatok legeltetéséhez, hústermeléséhez nélkülözhetetlen területek.
- Halászati területek: azok a tengeri területek, amiket halászat céljából használnak fel. Hal, rák, valamint más vízi állatok fogyasztásával arányos tenger.
- Erdők területei: erdővel borított területek, amelyek a fa- és papírfogyasztásunkat fedezik.
- Beépített területek: infrastruktúrával fedett, ipari, közlekedési terek vagy lakóházak.
- Szén-dioxid elnyelő területek: azon erdőterületnek a nagysága, amely elméletileg szükséges a kibocsátott szén-dioxid elnyeléséhez. Ez utóbbi kategória többivel ellentétben fiktív. (WWF, 2000; Csutora, 2011)

Az első öt kategória lefedheti egy ország teljes területét, míg a hatodik fiktív kategória, tehát elméleti, nem valós térbeli kategória. Az ökológiai lábnyom számítása során globális hektárban kalkulálunk. Tenk Antal (2010) észrevételei alapján a globális hektár a rendelkezésre álló területek átlagos biológiai produktivitását jelenti, amely az adott agrárinput mellett elérhető maximális hozamot tükrözi. Ennek értelmében egy jó, kiváló termőképességgel rendelkező terület helyettesíthet több hektár gyengébb adottságú területet. A számításnál fontos szerepe van még az egyenértékfaktornak, ami az adott évben minden országra azonos, ezenkívül a hozamfaktorra, mely minden országra és az adott évre különböző. Ezek a tényezők teszik lehetővé, hogy az eltérő területeket globális hektárrá számíthassuk át. (Tenk, 2010)

A szénlábnyom önmagában is alkalmazott fenntarthatósági mutató, ami valójában részhalmaza az ökológiai lábnyomnak. A szénlábnyom vagy carbon footprint az üvegházhatású gázok kibocsátott mennyiségét méri általában ekvivalens tonna szén-dioxidban (CO₂e). Ez az egység azt fejezi ki, hogy milyen mértékű hatással bír egy bizonyos mennyiségű üvegházgáz a globális klímaváltozásra, mindezt szén-dioxidra vonatkoztatva. (online1)

A vízlábnyom azt a vízmennyiséget foglalja magában, ami egy termék előállításához szükséges. Figyelembe veszi az ellátási lánc minden fázisában elszennyezett, valamint felhasznált vizet. A vízlábnyom is az ökológiai lábnyom részhalmaza, valamint önálló mutatóként is alkalmazzák. (Fleischer, 2014)

2.9 Ökológiai túllövés

Az eltartóképesség egy ökológiai fogalom, amely azt mutatja meg, hogy egy adott ökoszisztéma vagy terület maximálisan hány egyedet képes eltartani egy adott fajból egy adott időszakra –

általában egy évet jelent – a környezet károsodása nélkül. Ha a populáció létszáma meghaladja a terület fajra vonatkoztatott természetes eltartóképességet, akkor túllövésről, azaz az overshootról beszélhetünk. Meadows és szerzőtársai (2005) szerint a 200 %-os túllövés 2050-ben, míg az Élő Bolygó (2010) szerint 2030-ban következik be. A túllövés nemcsak az ökológiai lábnyomot növeli folyamatosan, hanem folyamatosan csökkenti a biokapacitást. (Tóth, 2012)

Számtalan jelenség, többek közt a biológiai diverzitás csökkenésének vagy az éghajlatváltozásnak okaként az antropogén ökológiai túllövést tartják számon. A túllövés az emberi viselkedés modern válságának tünete. Ezt a válságot többen „Human Behavioural Crisis” -nak, azaz emberi viselkedési válságnak nevezik, amit fel kellene ismernie az emberiségnek és változtatnia kellene rajta. Túllövés vagy túlfogyasztás alatt azt értjük, hogy az emberek olyan gyors ütemben használják fel a természeti erőforrásokat, ahogyan azok nem képesek megújulni, valamint azt, hogy az entropikus hulladéktermelés meghaladja a Föld asszimiláló és feldolgozó kapacitását. (Merz és mtsai, 2023)

Korábbi kimutatások alapján az mondható el, hogy egyetlen ország sem képes jelenleg kielégíteni lakosainak alapvető szükségleteit olyan erőforrás-felhasználási szinten, amely fenntartható módon kiterjeszhető lenne minden ember számára világszerte. Az egyes országok hajlamosak a biológiai határok gyorsabb átlépésére, mint ahogyan elérnék a társadalmi küszöbököt. A jelenlegi trendek csak tovább mélyítik az ökológiai válságot, miközben a társadalmi hiányosságokat nem képesek felszámolni. (Fanning és mtsai, 2022)

2.10 Ökológiai lábnyom hibái

Az ökológiai lábnyom számítása kulcsfontosságú lehet, hiszen az emberek magatartásformáit pozitív irányba tereli a fenntarthatósággal kapcsolatban. Segítségével kockázatok ok-okozati összefüggéseire találhatunk magyarázatot. Viszont mivel sok változót vesz figyelembe az ökológiai lábnyom, ezért a számítások bonyolulttá válhatnak. Fontos megemlíteni, hogy az ökológiai lábnyom statisztikusi elemzésekből tevődik össze, amelyeknél a levonható következmények esetében több a hibalehetőség, bizonytalanság, mint egy műszaki mérés esetében, ráadásul sok érték nem is igazán mérhető (Sándorné, 2023).

Számos kutató rámutatott arra, hogy az ökológiai lábnyom túlzottan leegyszerűsíti azt az összetett folyamatot, ami a fogyasztás fenntarthatóságának mérésére irányul. Az ökológiai lábnyom értékes oktatási eszköz, azonban az eredeti számítások alapján regionális szakpolitikai és tervezési eszközként csak korlátozottan lehetett felhasználni. Mivel nem mutatja meg, hogy

hol következnek be a hatások, ezek milyen súlyosak és jellegűek, emellett hogyan viszonyulnak az egyes ökoszisztémák önjavító képességéhez, ezért módosításokat hajtottak végre a fenntarthatóság pontosabb mérésére irányulóan. Ilyen módosítás, hogy input-output elemzéseket alkalmaznak, megújuló energiaforgatókönyveket dolgoznak ki, figyelembe veszik a földterület bolygatottságát, bontják a termelési rétegeket.

Különböző területeken – egy országon belül is – eltérő éghajlatoknak és talajtípusoknak vannak kitéve a növénytermesztő gazdaságok, emellett az egyes gazdálkodók nagyon eltérő menedzsment stratégiákat alkalmaznak. Az eredeti módszerrel nem lehetséges figyelembe venni ezeket az alapvető különbségeket. (Lenzen és mtsai, 2003)

Különböző statisztikák (kibocsátásról, üzemanyag-felhasználásról, mezőgazdaságról szóló) és termelési, környezetvédelmi, kereskedelmi jelentések szolgálnak forrásként az adatokhoz. Az ökológiai lábnyom-számítás egy mátrix segítségével történik, ahol minden fogyasztási kategóriához földterületet rendelnek. Ahhoz, hogy az ökológiai lábnyomot kiszámítsuk egy egyénre vonatkozóan, az összes földterületet összeadjuk, majd elosztjuk a populáció létszámával, így az eredményt hektár/fő egységben kapjuk meg. Egy közösség teljes ökológiai lábnyoma szintén meghatározható az általuk lakott termékeny terület nagyságának figyelembevételével. Különbséget határozunk meg, aminek eredménye ha pozitív számot ad, azt ökológiai "maradék" vagy fennmaradó ökológiai kapacitásnak tekintik az adott populáció számára. Míg negatív érték esetén ökológiai "hiány" vagy deficit áll fenn (Lenzen, 2003).

Világszerte több kutatócsoport dolgozik az input-output alapú ökológiai lábnyom modelleken. Azonban a globális átlagos produktivitásra történő átváltás miatt csökken a módszer részletessége, ami akadályozza annak alkalmazását regionális szintű politikák kialakításában. Ez azért van így, mert az ilyen politikák mindig figyelembe veszik a helyspecifikus gazdasági, politikai, technológiai, környezeti és éghajlati szempontokat, sajátosságokat is. (Lenzen és mtsai 2001).

A számítási módszerrel szemben több kritikát is felállítottak, amelyek közül az egyik legfontosabb, hogy nem vesz figyelembe minden tényezőt, így az eredmények alulbecsültek lesznek. Emiatt inkább a társadalom természeti erőforrás-használatának modelljeként érdemes kezelni. Számos tényező, például a hulladéktermelés vagy az ivóvízfogyasztás, kimarad a számításból, mert ezekre eddig még nem dolgoztak ki megfelelő mérési eljárásokat. A

kritikusok azt is kifogásolják, hogy az eredmények becsléseken alapulnak. Ugyanakkor folyamatos fejlesztésekkel pontosabb eredmények is elérhetőek lehetnek. Van den Bergh, Verbruggen (1999) és Lenzen (2001) az alapegységet is bírálták, mivel szerintük a nemzeti határok önkényesek, és ökológiai alapon kellene területeket kijelölni, hiszen egy ország fogyasztása más országok ökoszisztémáit is terheli. Ugyanakkor a globalizáció miatt ez a megközelítés nem életszerű, hiszen a fogyasztás hatásai globálisan érvényesülnek, amit csak világméretű mérési rendszerekkel lehet értelmezni. Emellett gyakorlati szempontból az adatok is nemzeti szinten érhetőek el, így a nemzeti határok használata célszerűbb. Probléma lehet az is, hogy az ökológiai lábnyom összehasonlítja a ritkán lakott nagy országokat a kis, sűrűn lakottakkal, ami igazságtalanságot képezhet. (Pappné, 2004)

3. Anyag és Módszer

3.1 Ökológiai lábnyom számítása

Az ökológiai lábnyom számításához Tiezzi és munkatársai képletét alkalmaztam:

$$EF_P = \frac{P}{Y_N} \times YF \times EQF$$

EF_P : a termelés ökológiai lábnyoma globális hektárban {gha}

P : az elsődleges termék mennyisége. Abban az esetben, ha CO_2 -ről van szó, az összes kibocsátott szén-dioxidot magába foglalja. {tonna}

Y_N : az egyes termékek előállításának éves átlaga az országban. {t/ha}

Y_F : vagyis yield faktor, a nemzeti hozam és az átlagos világhozam arányszáma. Növénytermesztő gazdaságra vonatkoztatva ki kell számolni az adott helyre vonatkozó hozamtényezőt a világ átlagához viszonyítva.

EQF : az egyes termékek ekvivalencia-tényezője, más néven ekvivalencia-faktora, ami az eltérő fajta földtípusok termelékenységét veti össze. Ennek mértékegysége a globális hektár/világhektár {gha/wha}. (Szigeti, 2012)

Ez az egyenlet összehasonlítja az adott területen befektetett anyagok mennyiségét ahhoz képest, hogy a világban mennyit állítottak elő átlagosan. Az ekvivalencia-tényezők földhasználatától és évszámától függően eltérőek.

A számítás több feltételezésen alapul: eszerint a legjobb minőséggel rendelkező talajokon növénytermesztés zajlik, a közepes termőképességű területeken erdőket alakítottak ki, mialatt az ezeknél gyengébbek legeltető területként szolgálnak. A módszer további feltevése, hogy az infrastruktúra kiépítéséhez a szántóföldeket használták fel, ezért ezek ekvivalenciafaktora megegyezik a szántóföldekével. Az erdőket mindemellett karbonmegkötő szerepük miatt szintén azonos faktoriall veszik figyelembe, míg a víztározók ekvivalenciafaktora a globális átlag alapján lett megállapítva. (Csutora, 2011)

Az ökológiai lábnyom sok különböző tényezőből áll, de a számítás nagyon hasonló minden tényező esetében. Miután minden tényezőnek meghatároztam az ökológiai lábnyomát, összeadtam őket, majd megkaptam az egész ökológiai lábnyomot.

A globális hektárnál nem tesznek különbséget az adott területtípusok közt, így lehetséges a jelentősen eltérő termékek, tényezők közvetlen összehasonlítása.

Annak megállapításához, hogy a gazdaságok fenntarthatók-e, ellenőrizni kell, hogy a kiszámított ökológiai lábnyom kisebb-e, mint annak a földnek a biokapacitása, amelyen a növényeket termeszt az adott gazdaság. Amennyiben kisebb értéket kapunk, akkor a gazdaság olyan ütemben termel termést, amelyet a bolygó elbír. Ellenkező esetben viszont nem fenntartható a gazdaság.

Az egyenlet különböző helyzetekben, különböző egyénekre vonatkoztatva is alkalmazható.

Az ökológiai lábnyomot a biokapacitáshoz viszonyítottam. A biokapacitást az alábbi képlet alapján számoltam ki:

$$BC = A \times YF \times EQF$$

BC: a biokapacitás {gha}

YF és EQF az előzőekben megfogalmazottakat jelölik.

A: az adott országban rendelkezésre álló terület egyes területtípusonként meghatározott értéke {ha}.

A következő táblázattal (1.táblázat) szeretném szemléltetni, hogy az egyes tényezők milyen ekvivalencia-faktorral rendelkeznek. A táblázatot a Global Footprint Network Calculation Factors című Excel-táblázatában feltüntetett legfrissebb, 2022-es adatai alapján készítettem.

Földterület típus	EQF	YF
Szántóföld	2,50	1,55
Erdő	1,27	2,55
Legelő	0,46	1,93
Tengeri halászati terület	0,37	0,00
Beépített területek	2,50	0,81
Édesvízi halászati terület	0,37	1,00
Szén-dioxid elnyelő területek	1,27	2,55

1.táblázat: Ökológiai lábnyom összetevői, ezek ekvivalencia faktorai és yield faktorai

A táblázat alapján megállapítható, hogy a szántóföldek, emellett az infrastruktúra azonos értéket mutatnak, mégpedig 2,5-öt. Ha az erdőterületeket és a karbont tekintjük, 1,27-es értékeket láthatunk, ez a legelőnél 0,46, illetve a tengerek, valamint édesvizek szintén ugyanazt azt értéket veszik fel (0,37).

3.2 Az ökológiai lábnyom földhasználati kategóriái

Az ökológiai lábnyomszámítás hat különböző földhasználati típust foglal magában: szántóföld, legelő, halászati terület, erdő, infrastrukturális terület, valamint az energiaföld, amely a széndioxid megkötéséhez szükséges. A következőkben ezen területtípusok fogalmi tisztázására kerítünk sort, hogy ezek a képletbe pontosan beilleszthetők legyenek. (Ewing és mtsai, 2009)

Szántóföld

A szántóföld a legnagyobb bioproduktivitással rendelkező földhasználati kategória. Ide tartoznak azok a területek, amelyeken emberi fogyasztásra alkalmas élelmiszereket, rostokat, valamint állati takarmányokat, olajnövényeket és ipari alapanyagokat – például gumit – termelnek. A FAO adatai szerint 2006-ban világszinten 1,6 milliárd hektár szántóföld állt rendelkezésre. A National Footprint Accounts 164 különböző mezőgazdasági növénykategória ökológiai lábnyomát számította ki. Fontos megjegyezni, hogy a számítások nem veszik figyelembe az egyes mezőgazdasági technológiák vagy nem fenntartható agrokulturális gyakorlatok hosszú távú talajdegradációs hatásait. (Ewing és mtsai, 2009)

Legelők

2006-ban világszerte körülbelül 3,4 milliárd hektár földterületet használtak legeltetésre. A legelők elsődleges célja a bőr-, gyapjú-, tej- és hústermékeket előállító állatállomány ellátása. A legelők lábnyomát az országban rendelkezésre álló takarmány és az állatok éves takarmányigénye közti különbség alapján számítják, feltételezve, hogy a hiányzó részt a legeltetési területekről fedezik. Mivel a legelők hozama az adott év föld feletti elsődleges termelését tükrözi, a túlhasználat fizikailag nem lehetséges, így ezen földtípus lábnyoma jellemzően a biokapacitás alatt marad (Ewing és mtsai, 2010).

Erdő-fa és tűzifa előállításának céljából

Az erdőterületek ökológiai lábnyomát egy adott ország éves fa-, cellulóz-, faipari termék- és tűzifa-fogyasztása alapján határozzák meg. A FAO becslése szerint 2007-ben a világ teljes

erdőterülete körülbelül 3,9 milliárd hektárt tett ki. A faanyag termelékenységét az UNECE és a FAO felmérései alapján határozták meg, a betakarítható aljnövényzet éves átlagos hozama 1,83 m³. A számítások figyelembe veszik az ültetvény típusát, lefedettségét, hozamát, valamint a gazdaságilag megközelíthetetlen vagy védett erdők arányát is (Ewing és mtsai, 2009).

Halászati területek

A halászati területek ökológiai lábnyomát a fenntartható halfogási szintek alapján számítják ki, figyelembe véve a halfajok trófikus szintjét, vagyis a táplálékláncban elfoglalt helyüket. A magasabb trófikus szinten elhelyezkedő fajok nagyobb elsődleges termelési inputot igényelnek, így nagyobb fogyasztási lábnyommal rendelkeznek. A becslések szerint 2006-ban a kontinentális talapzatok 2,4 milliárd hektárt, míg a belföldi vízterületek 433 millió hektárt tettek ki (FAO & World Resources, 2007). A National Footprint Accounts több mint 1400 tengeri és 260 édesvízi halfaj PPR-értékét (elsődleges termelési követelmény) is tartalmazza (Erwing és mtsai, 2010).

Beépített terület

A beépített terület ökológiai lábnyomát az emberi infrastruktúrához – lakóépületek, közlekedés, ipari létesítmények, víztározók – kapcsolódó földhasználat alapján számítják. 2006-ban a beépített területek nagysága világszerte elérte a 167 millió hektárt (FAO, 2005; IIASA GAEZ, 2000). Feltételezhető, hogy e területek eredetileg szántóföldként funkcionáltak, mivel a települések jellemzően termékeny földterületeken jönnek létre. A vízi létesítmények által elárasztott földek termékenységét az átlagos globális hozam alapján becsülik. (Ewing és mtsai, 2009)

Erdő-szén-dioxid elnyelése céljából

A National Footprint Accounts egyetlen figyelembe vett hulladéktípusa a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó szén-dioxid. A szénlábnyomot az elnyeléséhez szükséges erdőterületek méretével határozzák meg. Ez a jelenleg az emberiség teljes ökológiai lábnyomának legnagyobb komponense. A számítás első lépése a fosszilis energiahordozók elégetése, a földhasználat változása, valamint a nemzetközi közlekedésből származó CO₂-kibocsátás összegzése. Az óceánok által elnyelt CO₂ levonása után a fennmaradó mennyiséget olyan erdőterülethez rendelik, amely az adott évben képes lenne ezt elnyelni. Fontos kiemelni,

hogy a fakitermelés és a CO₂-megkötés céljából történő erdőhasználat kölcsönösen kizárják egymást (Ewing és mtsai, 2009).

3.3 A vizsgált gazdaságok bemutatása

A számításhoz két különböző, hazai mezőgazdasági üzem adatait használtam fel. Az első gazdaság Váralján, Tolna vármegyében található, és elsősorban búza, kukorica és napraforgó termesztésével foglalkozik. Területe közel 554 hektár, ahol konvencionális művelés zajlik. A másik gazdaság Nagymányokon, szintén Tolna vármegyében helyezkedik el, és hasonló kultúrákat termeszt, azonban a technológiai megoldások, inputanyag-felhasználás és vetésszerkezet eltérő. A gazdaság területe 872 hektár. A vizsgálatokhoz a gazdaságok által rendelkezésre bocsátott termelési, inputanyag-felhasználási adatokat használtam fel, amelyeket alapul vettem az ökológiai lábnyom kiszámításához.

Az adatok feldolgozása és az ökológiai lábnyomszámítás a Microsoft Excel program segítségével történt.

4. Eredmények

Vizsgálatom során két különböző technológiát alkalmazó növénytermesztő gazdaság – egy hagyományos, illetve egy precíziós gazdálkodást folytató gazdaság – ökológiai lábnyomát számoltam ki, hasonlítottam össze. A számításokat az ökológiai lábnyom általánosan alkalmazott képlete szerint végeztem el, figyelembe véve a megművelt terület nagyságát és az ökológiai számításokban alkalmazott ekvivalencia- és hozamtényezőket.

Először a két gazdaság esetében a különböző növénykultúrák 1 hektárra eső ökológiai lábnyomát vettem szemügyre. Ezek a hagyományos gazdálkodás esetében búza, lucerna, kukorica és napraforgó voltak, míg a helyspecifikus gazdálkodás részéről búza, árpa, napraforgó és kukorica voltak.

A következő táblázatokon tüntettem fel az adatokat és eredményeket a számoláshoz (2., 3. táblázat).

Növénykultúra	Vetésterület {ha}	Termésátlag {t/ha}	P termésmennyiség {t}	Y _N	Y _F	EQF	EF {gha}	1 hektárra eső ökológiai lábnyom {gha/ha}
Búza	130	7,5	975	5,64	1,55	2,5	669,88	1,21
Lucerna	185	10	1850	4,8	1,55	2,5	1493,49	2,7
Napraforgó	75	3,5	262,5	2,9	1,55	2,5	350,75	0,63
Kukorica	164	9,5	1558	8,15	1,55	2,5	740,77	1,34
Összesen			4645,5	5,37	1,55	2,5	3352,2	6,05

2.táblázat: Hagományos gazdálkodás egy hektárra jutó ökológiai lábnyoma

A növénykultúrák vetésterületeinek és termésátlagainak szorzatával megkaptam a P termésmennyiség értékeket, melyek a következők: az összes megtermelt búza 975 tonna, az összes megtermelt lucerna 1850 tonna, az összes megtermelt napraforgó 262,5 tonna és az összes megtermelt kukorica 1558 tonna. Y_N országos termésátlagokat az adott terményeket illetően a KSH adatbázis szolgáltatta. Y_F és EQF értékek előre meghatározottak voltak, a

Global Footprint Network legfrissebb, Excelben rögzített adatait alkalmaztam, melyek 1,55 és 2,5 voltak a 2022-es évben.

Ökológiai lábnyomokat tekintve búza esetén 1,21 gha értéket kaptam, amely alapján megállapítható, hogy ez egy hatékony termesztés viszonylag alacsony lábnyommal. Lucernánál habár nagy a hozam, aránytalanul nagy az ökológiai lábnyom (2,7 gha), így kevésbé fenntartható a termesztés. Napraforgóra nézve az ökológiai lábnyom 0,63 gha, amely kiemelkedően jó ökológiai teljesítményre utal. Kukorica esetében jó terméshozam és mérsékelt ökológiai lábnyom figyelhető meg, nem drasztikus az eredmény. Összességében a gazdaság ökológiai lábnyoma 6,05 gha, ez fenntarthatóság szempontjából nem kedvező.

Növénykultúra	Vetésterület {ha}	Termésátlag {t/ha}	P termésmennyiség {t}	Y_N	YF	EQF	EF {gha}	1 hektárra eső ökológiai lábnyom {gha/ha}
Búza	287	7	2009	5,64	1,55	2,5	1380,3	1,58
Árpa	10	7,5	75	5,38	1,55	2,5	54,02	0,06
Napraforgó	285	3,6	1026	2,9	1,55	2,5	1370,95	1,57
Kukorica	290	10,3	2987	8,15	1,55	2,5	1420,2	1,63
Összesen			6097	5,52	1,55	2,5	4280,05	4,91

3.táblázat: Precíziós gazdálkodás egy hektárra jutó ökológiai lábnyoma

A nagymányoki precíziós technológiát alkalmazó gazdaságnál azt vártam, hogy a másik gazdaság ökológiai lábnyománál kisebb értéket kapok. Ez beigazolódni látszik, ugyanis az eredmény 4,91 gha, amely 1,14 globális hektárral kevesebbet jelent. Ennél a gazdaságnál a búzának nagy a jelentősége, jó a termelési eredmény, az ökológiai lábnyom pedig közepesnek mondható. Árpát tekintve rendkívül kedvező mutatókat figyelhetünk meg, viszont elenyésző területen történik a termesztés. A napraforgó értékeit összehasonlítva az előző táblázattal azt láthatjuk, hogy a termesztés volumene jóval nagyobb, ez nagyobb lábnyomot is eredményez. Végül a kukorica a legnagyobb területen termesztett kultúra, magas produktivitással, mégis csak enyhén magasabb ökológiai lábnyommal. Ez egy hatékony és fenntartható kombináció.

A növényvédőszer (fungicidek, inszekticidek, herbicidek) közvetlen szén-dioxid-kibocsátást okoznak kijuttatásuk révén, ezért az ökológiai lábnyomuk a beépített szén-dioxid-kibocsátáson keresztül számolható ki.

A váraljai gazdaságtól az alábbi adatokat kaptam:

Kalászosoknál gombaölőből 2 l/ha rovarölőből 6 dl/ha és gyomirtóból 440 g/ha-t juttattak ki. Napraforgó esetében 2-szer alkalmaztak herbicides kezelést, az egyik 1,5 l/ha, a másik alkalomkor 2,5 l/ha-os normát jelentett. Emellett 1l/ha gombaölős kezelés történt meg. Kukoricánál csak herbicides kezelés történt, folyékonyból 0,25 l/ha, por alapúból 0,5 kg/ha.

Ezekből az adatokból kiindulva először a vetésterületre vonatkozó kijuttatott mennyiségeket számoltam ki az egyes szerekből.

Búza (130 ha)

Gombaölő: $2 \text{ l/ha} \times 130 \text{ ha} = 260 \text{ l}$

Rovarölő: $0,6 \text{ l/ha} \times 130 \text{ ha} = 78 \text{ l}$

Gyomirtó: $0,44 \text{ kg/ha} \times 130 \text{ ha} = 57,2 \text{ kg}$

Napraforgó (75 ha)

Gombaölő: $1 \text{ l/ha} \times 75 \text{ ha} = 75 \text{ l}$

Gyomirtó 1. kezelés: $1,5 \text{ l/ha} \times 75 \text{ ha} = 112,5 \text{ l}$

Gyomirtó 2. kezelés: $2,5 \text{ l/ha} \times 75 \text{ ha} = 187,5 \text{ l}$

□Összes folyékony gyomirtó: 300 l

Kukorica (164 ha)

Folyékony gyomirtó: $0,25 \text{ l/ha} \times 164 \text{ ha} = 41 \text{ l}$

Por alapú gyomirtó: $0,5 \text{ kg/ha} \times 164 \text{ ha} = 82 \text{ kg}$

Lucernában nem alkalmaztak növényvédő szert.

Lal (2004); Hillier és mtsai (2009); Nemecek és mtsai (2005) és a FAO/IFDC (2006) alapján gyűjtöttem a növényvédő szerek CO₂e/l vagy kg-os kibocsátási értékeket, amelyek a következő táblázatban szerepelnek:

Szer típusa	Kibocsátás egységenként
Gombaölő	24 kg CO ₂ e/l
Rovarölő	19 kg CO ₂ e/l
Gyomirtó-folyékony	17 kg CO ₂ e/l
Gyomirtó-por alapú	12 kg CO ₂ e/kg

4.táblázat: Növényvédő szerek CO₂e/l, CO₂e/kg értékei

Ezek az egységek és az előbbieken kiszámolt mennyiségek szorzataként az összes szén-dioxid-kibocsátást megkaptam.

Búza:

Gombaölő: $260 \text{ l} \times 24 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 6240 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Rovarölő: $78 \text{ l} \times 19 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 1482 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Gyomirtó (por): $57,2 \text{ kg} \times 12 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 686,4 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $8408,4 \text{ kg CO}_2\text{e} = 8,41 \text{ t CO}_2\text{e}$

Napraforgó:

Gombaölő: $75 \text{ l} \times 24 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 1800 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Gyomirtó: $300 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 5100 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $6900 \text{ kg CO}_2\text{e} = 6,90 \text{ t CO}_2\text{e}$

Kukorica:

Folyékony: $41 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 697 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Por: $82 \text{ kg} \times 12 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 984 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $1681 \text{ kg CO}_2\text{e} = 1,68 \text{ t CO}_2\text{e}$

Ahhoz, hogy a karbonlábnyom tényezőit számolhassam az ökológiai lábnyom részeként, globális hektárrá kellett alakítanom a szén-dioxid kibocsátást, így összehasonlítható lett más földhasználati kategóriákkal. Ennek során 1 tonna CO₂ megfelel 0,27 gha értéknek. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy ez egy becslött átlag, amelyet különböző források és modellek alapján használnak. Ez az arány a Global Footprint Network által alkalmazott

módszertan alapján került meghatározásra, ahol figyelembe veszik a földterület szén-dioxid elnyelési képességét és a globális átlagos biológiai kapacitást a földhasználat típusa mellett.

Búza: $8,41 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 2,27 \text{ gha}$

Napraforgó: $6,90 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 1,86 \text{ gha}$

Kukorica: $1,68 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 0,45 \text{ gha}$

Összesített ökológiai lábnyom: $2,27 \text{ gha} + 1,86 \text{ gha} + 0,45 \text{ gha} = 4,58 \text{ gha}$

Egy hektárra eső ökológiai lábnyom (gha/ha)

Búza: $2,27 \text{ gha} / 130 \text{ ha} = 0,0175 \text{ gha/ha}$

Napraforgó: $1,86 \text{ gha} / 75 \text{ ha} = 0,0248 \text{ gha/ha}$

Kukorica: $0,45 \text{ gha} / 164 \text{ ha} = 0,0027 \text{ gha/ha}$

Összesen: $0,045 \text{ gha/ha}$

A nagymányoki gazdaságra vonatkozó adatokat, számolást a továbbiakban ismertetem:

Kalászosoknál összesen gombaölőből és gyomirtóból egyaránt 574 litert juttattak ki, míg rovarölőből 12 litert. Napraforgó esetében kelés előtt 570 liter herbicidet juttattak ki, felülkezelésre pedig 285 litert használtak. Gombaölőből szintén 285 litert alkalmaztak. Emellett deszikkáló szerrel is dolgoztak, ami 1140 litert jelentett. Kukoricánál talajfertőtlenítettek, ehhez 1725 kg talajfertőtlenítővel dolgoztak, valamint gyomirtást alkalmaztak, itt alapgyomirtás 127,5 liter volt, Principalból és Pitonból pedig 127,5 kg volt a kijuttatott mennyiség. A számolás során az előbbieken alkalmazott szén-dioxid egységekkel számoltam. A deszikkáló szert a folyékony gyomirtónál feltüntetett értékkel szoroztam be, mivel legtöbb esetben glifozát alapú a szer és a szakirodalom emiatt ebbe a kategóriába sorolja. A talajfertőtlenítőt pedig a por alapú gyomirtók kategóriába tettem, ugyanis a talajfertőtlenítők általában granulált vagy por formában kerülnek kijuttatásra, így a szilárd gyomirtók kibocsátási faktora áll a legközelebb hozzájuk.

Kalászosok (búza + árpa) (297 ha)

Gombaölő: $574 \text{ l} \times 24 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 13\,776 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Rovarölő: $12 \text{ l} \times 19 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 228 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Gyomirtó (folyékony): $574 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 9\,758 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $13\,776 \text{ kg CO}_2\text{e} + 228 \text{ kg CO}_2\text{e} + 9\,758 \text{ kg CO}_2\text{e} = 23\,762 \text{ kg CO}_2\text{e} = 23,76 \text{ t CO}_2\text{e}$

Napraforgó (285 ha)

Gyomirtó (kelés előtti): $570 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 9\,690 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Felülkezelés: $285 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 4\,845 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Gombaölő: $285 \text{ l} \times 24 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 6\,840 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Deszikkáló szer: $1140 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 19\,380 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $9\,690 \text{ kg CO}_2\text{e} + 4\,845 \text{ kg CO}_2\text{e} + 6\,840 \text{ kg CO}_2\text{e} + 19\,380 \text{ kg CO}_2\text{e} = 40\,755 \text{ kg CO}_2\text{e} = 40,76 \text{ t CO}_2\text{e}$

Kukorica (290 ha)

Gyomirtó (alap, folyékony): $127,5 \text{ l} \times 17 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 2\,168 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Principal, Piton (por alapú): $127,5 \text{ kg} \times 12 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 1\,530 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Talajfertőtlenítő (por): $1725 \text{ kg} \times 12 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 20\,700 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Összesen: $2\,168 \text{ kg CO}_2\text{e} + 1\,530 \text{ kg CO}_2\text{e} + 20\,700 \text{ kg CO}_2\text{e} = 24\,398 \text{ kg CO}_2\text{e} = 24,40 \text{ t CO}_2\text{e}$

Átváltás globális hektárra:

Kalászosok: $23,76 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 6,41 \text{ gha}$

Napraforgó: $40,76 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 11,01 \text{ gha}$

Kukorica: $24,40 \text{ t} \times 0,27 \text{ gha/t} = 6,59 \text{ gha}$

Összesen: 24,01 gha.

Egy hektárra eső ökológiai lábnyom (gha/ha)

Kalászosok: $6,41 \text{ gha} / 297 \text{ ha} = 0,0258 \text{ gha/ha}$

Napraforgó: $11,01 \text{ gha} / 285 \text{ ha} = 0,0386 \text{ gha/ha}$

Kukorica: $6,59 \text{ gha} / 290 \text{ ha} = 0,0227 \text{ gha/ha}$

Összesen: 0,0871 gha/ha

Hasonlóan a növényvédő szerekhez, a műtrágyák is a karbonlábnyomon belül járulnak hozzá az ökológiai lábnyom alakulásához. Brentrup és mtsai (2016) szerint így alakulnak a fő műtrágyák szénlábnyom (CFP) értékei különböző régiókban:

Fertilizer product	Nutrient content	CFP at plant gate (kg CO ₂ e/kg product)			
		Europe	Russia ^c	USA ^c	China ^c
Ammonium nitrate	AN 33.5% N	1.18	2.85	2.52	3.47
Calcium ammonium nitrate	CAN 27% N	1.00	2.35	2.08	2.86
Ammonium nitrosulphate	ANS 26% N, 14% S	0.82	1.58	1.44	2.22
Calcium nitrate ^a	CN 15.5% N	0.67	2.03	1.76	2.20
Ammonium sulphate	AS 21% N, 24% S	0.57	0.71	0.69	1.36
Di-ammonium phosphate	DAP 18% N, 46% P ₂ O ₅	0.64	0.81	0.73	1.33
Urea ^b	Urea 46% N	0.89	1.18	1.18	2.51
Urea ammonium nitrate ^b	UAN 30% N	0.81	1.65	1.50	2.37
NPK 15-15-15	NPK 15% N, 15% P ₂ O ₅ , 15% K ₂ O	0.73	1.40	1.27	1.73
Triple superphosphate	TSP 48% P ₂ O ₅	0.18	0.25	0.19	0.26
Muriate of potash	MOP 60% K ₂ O	0.23	0.23	0.23	0.23

2.ábra: Műtrágyák szénlábnyom értékei

Az ábra alapján kiszámoltam a két gazdaság műtrágya általi szénlábnyomát.

A váraljai gazdaságban 200 kg/ha pétisót (CAN, 27% N) alkalmaztak lucernában, illetve búzában, összesen 315 hektáron. Ebből adódóan 1 kg CO₂e/kg-os adatot emeltem ki a táblázatból. A teljes felhasznált pétisó mennyiségét vettem szemügyre először. A 315 hektárt megszoroztam a 200 kg/ha-ral, így 63000 kg-ot kaptam, amely 63 tonnának felel meg. Ezt követően 63000 kg*1 kg CO₂e/kg=63000 kg CO₂e-t kaptam, amely 63 t CO₂e-nek felel meg. Kukoricában és napraforgóban (239 ha) is dolgoztak pétisóval, amely feleannyi (100 kg/ha) mennyiségű volt, emellett pedig ammónium-szulfát oldat került felhasználásra 100 kg/ha mennyiségben. Így tehát 239 ha*100 kg/ha= 23900 kg, majd pétisó esetében 23900 kg*1 kg CO₂e/kg = 23900 kg CO₂e = 23,9 t és ammónium-szulfát esetében 23900 kg*0,57 kg CO₂e/kg = 13623 kg CO₂e szolgál eredményül, amely 13,623 tonna CO₂e-t jelent. Összesen 100,523 tonna CO₂e került kibocsátásra. Ezt átváltottam globális hektárrá, hogy az ökológiai lábnyomba számíthassam később a műtrágya kijuttatásával keletkezett kibocsátást. A növényvédő szereknél már megismert becsült arányt vettem igénybe (1 tonna CO₂e ≈ 0.27 gha). 100,523 t *0,27 gha/t=27,14 gha az egész területre vonatkozó ökológiai lábnyom. 1 hektárra vetítve pedig 27,14 gha/554 ha=0,05 gha/ha.

A nagymányoki gazdaság 4 %-nyi területe parlagon hagyott, így elmondható, hogy területének 96%-án alkalmaztak műtrágyát. Mindösszesen pétisót használtak fel 165 kg/hektáros normával. Így tehát számolásom menete:

$$872 \text{ ha} * 0,96 = 837,12 \text{ ha}$$

$$837,12 \text{ ha} * 165 \text{ kg/ha} = 138124,8 \text{ kg} = 138,125 \text{ t}$$

$$138124,8 \text{ kg} * 1 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 138124,8 \text{ kg} = 138,125 \text{ t}$$

$$138,125 \text{ t} * 0,27 \text{ gha/t} = 37,3 \text{ gha}$$

$$37,3 \text{ gha} / 837,12 \text{ ha} = 0,045 \text{ gha/ha}$$

Az üzemanyag karbonlábnyoma is rendkívül fontos tényező az ökológiai lábnyom számításában. A váraljai üzem MTZ 82-es mezőgazdasági vontatójára számoltam ki az értékeket. Segítségül a NAV-os üzemanyagnorma rendelet szolgált, amelyben található a norma kiszámításának képlete: $AN = 5,5 + 0,001 \times GS + 0,053 \times N$. A képletben az AN a normát, a GS a saját tömeget, az N pedig a motorteljesítményt tükrözi. Az MTZ 82-es tömege 3600 kg, motorjának teljesítménye 55 kW. Így a képletbe helyettesítve $AN = 5,5 + 0,001 * 3600 \text{ kg} + 0,053 * 55 \text{ kW} = 12,015$ eredmény jött ki.

Az átlagos üzemanyagfogyasztás (továbbiakban Á.ü.f.) hektáronkénti értékéhez 12 litert vettem alapul, ugyanis különböző domborzati viszonyokkal rendelkezik az 554 hektáros vetésterület (továbbiakban V.t.), valamint az eltérő művelési módok, például a szántás miatt (ahol kétséget kizáróan megterhelőbb munkát végez, többet fogyaszt a gép) jelentős különbségek fedezhetők fel az egyes fogyasztások közt. A Global Footprint Network 2022-es adatai alapján $YF = 2,55$ és $EQF = 1,27$, ezáltal az alábbi táblázat (5.táblázat) szerint alakul az 1 hektárra eső ökolábnyom.

	V.t. {ha}	Á.ü.f. {l/ha}	P üzemanyagmennyiség {l}	YN	YF	EQF	EF {gha}	EF hektáron ként {gha/ha}
Karbonlábnyom	554	12	6648	12,015	2,55	1,27	1791,89	3,23

5.táblázat: Hagyományos gazdálkodás üzemanyagból származó ökológiai lábnyoma

A nagymányoki gazdaságnál való számításhoz az egyik traktort választottam ki, a John Deere 6130M modellt. A traktornak tömege 5800 kg, motorteljesítménye 106 kW. Üzemanyagnormát tekintve a következő eredményt kaptam: $AN = 5,5 + 0,001 * 5800 \text{ kg} + 0,05 * 106 \text{ kW} = 37,2$.

	V.t. {ha}	Á.ü.f. {l/ha}	P üzemanyagmennyiség {l}	YN	YF	EQF	EF {gha}	EF hektáronként {gha/ha}
Karbonlábnyom	872	10	8720	37,2	2,55	1,27	759,13	0,87

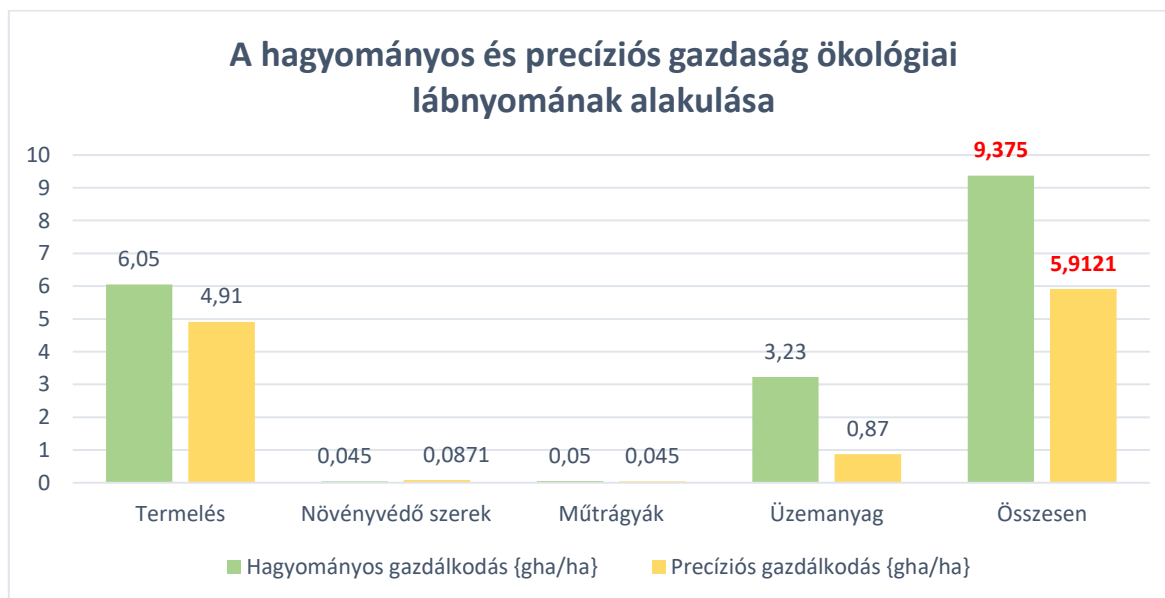
6.táblázat: Precíziós gazdálkodás üzemanyagból származó ökológiai lábnyoma

Tehát az egy hektárra eső ökológiai lábnyom 0,87 gha/ha.

A vízhasználat lábnyoma tulajdonképpen elhanyagolható, ugyanis egyik gazdaság esetében sincs öntözés, nem használnak fel öntözővizet.

A vetőmag input ökológiai lábnyomát nem számoltam ki, ugyanis az elérhető adatok nagyfokú bizonytalanságot hordoznak, és a vetőmag-előállításból származó kibocsátás a teljes rendszer szintjén jellemzően marginális (1–5% körüli) mértékű. (Nemecek és mtsai, 2007; AGRIBALYSE, 2020)

Ezek után már csak az összesített ökológiai lábnyomot kellett kiszámolni.



3.ábra: A hagyományos és precíziós gazdálkodás ökológiai lábnyomának alakulása

A 3. ábrán szemléltetettek szerint egyértelműen látható, hogy bár mind a hagyományos, mind a precíziós gazdálkodás ökolábnyoma viszonylag magas, a precíziós gazdálkodás esetén ez lényegesen alacsonyabb. Különösen jelentős a csökkenés az üzemanyag-felhasználás

tekintetében: a hagyományos módszerekhez képest a precíziós eljárásnak jóval kisebb az ökolábnyoma, a technológiai fejlődés a nagyobb teljesítményt, kisebb fogyasztást tette lehetővé. A műtrágya-felhasználásból származó ökolábnyom terén is enyhe csökkenés tapasztalható, mindössze 0,005 gha/ha különbséggel. Ezzel szemben egyedül a növényvédő szereknél kismértékben nagyobb a precíziós gazdálkodás ökolábnyoma, ugyanakkor ez nem ellensúlyozza az összesített értékeknél látható jelentős különbséget. Ez a csökkenés amennyiben precíziós technológiát választunk, mind a karbon- mind a nitrogén-lábnyom tekintetében kedvező hatással rendelkezik.

Ez alapján egyértelműen látszik, hogy a precíziós gazdálkodás kevésbé terheli a környezetet hektáronként, mint a hagyományos gazdálkodási forma. A pontosabb tápanyag-kijuttatás, a jobb időzítés, valamint az inputanyagok optimalizált felhasználása mind hozzájárulnak az alacsonyabb ökológiai lábnyomhoz. Ez összhangban van a szakirodalomban bemutatottakkal, miszerint a precíziós technológia nemcsak gazdasági, hanem környezeti szempontból is előnyösebb.

A különbség a két gazdaság hektáronkénti ökológiai lábnyoma között $\sim 3,46$ gha/ha, amely jelentősnek tekinthető. Ez alapján megállapítható, hogy a helyes technológiai beruházás és a környezettudatos gazdálkodási módszerek hosszútávon mérsékelhetik a szántóföldi növénytermesztés környezetterhelését.

A szén-dioxid kibocsátás csökkenése mérsékli az üvegházhatás mértékét, míg a nitrogén-oxid kibocsátásának visszaszorítása segíthet a szmogképződés mérséklésében, illetve az egészségre káros, valamint irritáló hatások csökkentésében. Bár a növények számára nagyon fontos szerepet játszó makroelemként tartjuk számon a nitrogént, ami nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a növény megfelelően növekedjen, túlzott használata nem kívánatos, sőt, jogszabályi korlátozás is vonatkozik a felhasználható mennyiségre.

A precíziós gazdálkodás során számos vizsgálatot végeznek annak érdekében, hogy a tápanyagokat célzottan, a növények igényeihez és a talaj állapotához igazítva juttassák ki. A talajvizsgálatok elengedhetetlenek, mivel a tápanyag-ellátottság nem egyforma minden területen. Ezek az elemzések lehetővé teszik, hogy a szükséges mennyiségű tápanyag pontosan oda kerüljön, ahol arra valóban szükség van.

Ennek következtében nemcsak a terméshozamok növekednek, hanem a környezeti terhelés is csökken. A célzott tápanyag-kijuttatás révén mérséklődik a légkörbe és a felszíni vizekbe kerülő

mezőgazdasági eredetű szennyező anyagok kibocsátása, ami hosszú távon kedvezően hat a környezetre. (Antal, 2005)

Az ökológiai lábnyom mellett rendkívül fontos a biokapacitás meghatározása is az adott területeken, mivel e két tényező összehasonlításával tudhatjuk meg igazán, mennyire fenntartható a gazdálkodás.

A biokapacitás magába foglalja az összes elérhető termékeny talajt. Ennek kiszámításához három alapvető tényező szükséges: a vetésterület nagysága, a hozamfaktor, valamint az ekvivalencia faktor. Az alábbi táblázatok a két gazdaság egyes növényfajaihoz tartozó biológiai kapacitást mutatja be.

Növénykultúra	Vetésterület {ha}	YF	EQF	BC {gha}	1 hektár biokapacitása {gha/ha}
Búza	130	1,55	2,5	503,75	0,91
Lucerna	185	1,55	2,5	716,88	1,29
Napraforgó	75	1,55	2,5	290,63	0,52
Kukorica	164	1,55	2,5	635,5	1,15
Összesen					3,87

7. táblázat: Hagyományos gazdálkodás biokapacitása

Növénykultúra	Vetésterület {ha}	YF	EQF	BC {gha}	1 hektár biokapacitása {gha/ha}
Búza	287	1,55	2,5	1112,13	1,28
Árpa	10	1,55	2,5	38,75	0,04
Napraforgó	285	1,55	2,5	1104,38	1,27
Kukorica	290	1,55	2,5	1123,75	1,29
Összesen					3,88

8. táblázat: Precíziós gazdálkodás biokapacitása

Ha a két táblázatot (7. és 8. táblázat) összehasonlítjuk, észrevehetjük, hogy az eltérő területek, kultúrák, biokapacitások ellenére az összes hektáronkénti biokapacitás tulajdonképpen ugyanannyi. A biokapacitás 3,87-et és 3,88 gha-t tesz ki, a különbség elhanyagolható. Ha az ökológiai lábnyomokat vesszük szemügyre – a hagyományosé 9,375 és a precíziósé 5,9121 –

az állapítható meg, hogy mindkét esetben magasan túllépi a területek biológiai kapacitását. Igaz, a precíziós gazdálkodás ökológiai lábnyoma sokkal közelebbi értéket mutat a biokapacitáshoz, mint a hagyományosé. Szeretném megjegyezni emellett, hogy ezek a vizsgálatok még rengeteg tényezőt magukba foglalnak és rendkívül bonyolult mindent figyelembe venni, mindenhez adatot gyűjteni, ami szükséges lehet a legpontosabb meghatározásokban. Sokszor a gazdálkodók, magánszemélyek sem tudnak olyan adatokhoz hozzájutni további kutatások, információszerzés nélkül, amelyek hozzájárulhatnak a számítások minél pontosabb elvégzéséhez. Illetve fontos az is, hogy az ökológiai lábnyomon, annak kidolgozásán, számításán is vannak kivetnivalók, amelyek bővítésre, javításra szorulnak. Viszont ez a mutató még mindig az egyik legelső és egyben legismertebb helyen áll a társadalomban a fenntarthatóság mérésének tekintetében.

5. Következtetések és javaslatok

Vizsgálataim során két különböző technológiát alkalmazó növénytermesztő gazdaság ökológiai lábnyomát hasonlítottam össze. Emellett a cél az volt, hogy megítéljem, hogy milyen mértékben járulhat hozzá a precíziós technológia a fenntarthatóbb mezőgazdasági termeléshez, illetve a környezeti terhelés csökkentéséhez.

Mindkét gazdaság ökológiai lábnyomának kiszámításával és biológiai kapacitásával összehasonlítva kijelenthető, hogy egyik gazdaság sem gazdálkodik ökológiailag kedvezően. Egyfelől azért, mert a rendelkezésre álló terület biokapacitását a váraljai gazdaság jelentősen túllépi, illetve igaz, hogy kisebb mértékben, de a nagymányoki gazdaság is meghaladja azt, másfelől pedig azért, mert az országos biokapacitás értékét is felülműlják a gazdaságok. Amennyiben a két gazdaság ökológiai lábnyomát tekintjük, hasonlítjuk össze, 37%-os eltérést fedezhetünk fel a precíziós gazdálkodás javára, tehát ez már önmagában is figyelemre méltó környezeti megtakarításra utal.

Ez alapján konstatálható, hogy:

1. A precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazása érzékelhető mértékben csökkenti a gazdálkodás ökológiai lábnyomát, ezáltal kisebb terhelést jelent a természetes erőforrásokra. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy optimalizált a géphasználat, ezenkívül célzott az inputanyag-felhasználás, legyen szó a műtrágyákról vagy a növényvédő szerekről.
2. A helyspecifikus technológia hozzájárul a fenntarthatósághoz: Nemcsak környezeti, hanem gazdasági szempontból is fenntarthatóbb működést tesz lehetővé hosszú távon precíziós eszközök alkalmazása. Az erőforrások effektívebb felhasználása révén redukálódik a környezetre gyakorolt negatív hatás, így ezek a technológiák közreműködhetnek a klímacélok elérésében is.
3. A technológiai fejlettség és a környezeti terhelés között szoros összefüggés figyelhető meg: A két gazdaság összehasonlítása rávilágított arra, hogy a magasabb technológiai szint nem csupán a termelés hatékonyságát növeli, hanem mérhető környezeti előnyökkel is jár.
4. A vizsgálat eredményei alátámasztják, hogy a precíziós gazdálkodás terjedése támogatandó közpolitikai és gazdaságstratégiai szinten is, kiváltképpen akkor, ha a cél

a mezőgazdaság környezetterhelésének redukálása. Ez történhet akár állami ösztönzőkkel, mivel ezek nemcsak gazdasági előnyöket hoznak, hanem a környezeti fenntarthatóságot is elősegítik.

A hagyományos gazdálkodás esetében célszerű lenne következetes vetésforgók kidolgozása; az eltérő művelési eljárások közül kiválasztani, melyek a legkedvezőbbek a talajadottságoknak megfelelően; a forgatásos művelést minimalizálni. Fontos mindemellett a talajtakarás, ez akár a növények szármagványainak mulcsként való alkalmazásával is megvalósítható. Ennek következtében a talajnedvesség megőrzése is kedvezőbb lenne. A talaj gyomborítottságát hántolással is mérsékelni lehetne. Ezenfelül a fokozatos beépítése a precíziós technológiai elemeknek is szükségszerű lehet. A fejlett, GNSS-, informatikai alapú rendszerek segítséget nyújthatnak a minél optimálisabb tápanyagellátáshoz, a gyomborítottság feltérképezéséhez.

A gazdaságoknak célszerű a helyspecifikus talajvizsgálatokra, GNSS-alapú kijuttatásra és drónos monitoringra építeniük a termesztési technológiát. A változó dóziszú műtrágya- és növényvédőszer-kijuttatás bizonyítottan csökkenti a környezetterhelést és a költségeket is. A nitrogénműtrágyák felhasználásának optimalizálása és az integrált növényvédelem (IPM) alkalmazása jelentős CO₂-kibocsátás-csökkenést eredményezhet. Érdemes előnyben részesíteni a környezetkímélő készítményeket és a biológiai alapú megoldásokat. A géphasználat optimalizálása és a megújuló energiaforrások (például napelemek) bevezetése mérsékelheti a fosszilis energiafelhasználást, ezáltal tovább csökkentheti a karbonlábnyomot. A forgatás nélküli, minimális talajművelés, valamint a takarónövények alkalmazása hozzájárulhat a szervesanyag-tartalom növeléséhez és a talaj hosszú távú termőképességének megőrzéséhez. A növényi maradványok talajban hagyása szintén javítja a tápanyag-körforgást. A gazdálkodóknak érdemes folyamatosan képezniük magukat a precíziós technológiák területén, illetve szaktanácsadást igénybe venniük az inputanyagok optimális kijuttatása érdekében. Az adatalapú döntéshozatal (hozamtérképek, talajszkennelési eredmények elemzése) kulcsfontosságú a hatékonyság növelésében. Célszerű lenne a precíziós gazdálkodás hosszú távú hatásait vizsgálni a talaj termékenységére, a biodiverzításra, valamint a gazdaságok ökonómiai mutatóira. Az ilyen vizsgálatok hozzájárulhatnak a fenntartható mezőgazdasági stratégia kialakításához országos szinten is.

Összességében megállapítható, hogy a hagyományos mezőgazdasági gyakorlatok szignifikáns mértékben hozzájárulnak az ökoszisztémák károsításához. Az emberi tevékenységek eddig is komoly hatást gyakoroltak a légkörre, és ezek következményeivel elengedhetetlenül

foglalkozni szükséges. Kulcsfontosságúnak tartom, hogy a gazdálkodók szélesebb köre is felismerje, hogy a jelenlegi gyakorlatok hosszú távon nem fenntarthatók. Tudatosítani kell, hogy Magyarország ökológiai lábnyomának második legnagyobb hányadát a mezőgazdaság adja. Dolgozatom elkészítése során méginkább megerősödött bennem az az eddig is már jelen lévő elhatározás, hogy a jövőben ösztönözzem a gazdálkodókat a fenntarthatóbb mezőgazdasági módszerekre való áttérésre, az eljárások javítására.

6. Összefoglalás

Szakedolgozatom kidolgozása során azt tűztem ki célul, hogy két különböző technológiai szinten működő, szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozó gazdaság-egy hagyományos és egy precíziós gazdálkodást alkalmazó- ökológiai lábnyomának számításán keresztül összehasonlítsam környezeti terhelésüket. Emellett kerestem a választ arra, hogy a precíziós technológiák milyen mértékben járulnak hozzá a fenntarthatóbb mezőgazdasági termeléshez. Illetve céлом volt még, hogy megoldást találjak a gazdaságok ökológiai lábnyomának csökkentésére.

Evégett először a szakirodalmi részben áttekintettem a fenntarthatóság, az ökológiai lábnyom és a precíziós gazdálkodás elméleti hátterét. Bemutattam a túlfogyasztás és az ökológiai túllövés problémáját, valamint szemléltettem azt, hogy az emberiség jelenlegi fogyasztása jóval meghaladja a Föld eltartóképességét. Külön figyelmet fordítottam az ökológiai lábnyom számításának módszertanára, valamint azokra a kritikákra, amelyek a mérési módszerek pontosságát és alkalmazhatóságát érintik.

A dolgozatomban foglalkoztam a mezőgazdaság és a klímaváltozás közötti kétirányú kapcsolattal is. Egyrészt azzal, hogy a klímaváltozás miként hat a mezőgazdaságra, másrészt pedig azzal, hogy a mezőgazdaság milyen hatással van a környezetre. Ennek kapcsán kiemeltem a fenntarthatóságot elősegítő mezőgazdasági eljárásokat, különösen a precíziós technológiák előnyeit, és ezeket összehasonlítottam a hagyományos gazdálkodási módszerekkel.

A számításokat a gazdaságok által megadott termelési, inputanyag- és üzemanyag-felhasználási adatok alapján végeztem el a nemzetközi ökológiai lábnyomszámítási képletek és ekvivalenciafaktorok segítségével. Az eredmények azt mutatták, hogy a precíziós gazdálkodású üzem ökológiai lábnyoma jelentősen alacsonyabb volt, mint a hagyományos gazdaságé. A különbség legfőképp a hatékonyabb inputanyag-felhasználásban, valamint a modern géppark alacsonyabb energiaigényében mutatkozott meg.

Következtetéseim alapján kijelenthető, hogy a fenntartható mezőgazdasági termelés felé vezető út egyik legfontosabb eleme a precíziós gazdálkodás bevezetése. Emellett fontos lenne az olyan mezőgazdasági gyakorlatok alkalmazása, amelyek elősegítik a káros anyagok megkötését, például megkötő növénykultúrák telepítésével, illetve a talajkímélő művelési eljárások előtérbe helyezésével.

7. Irodalomjegyzék

1. AGRIBALYSE® v3.0.1 – ADEME (Francia Környezetvédelmi és Energiagazdálkodási Ügynökség), 2020.
2. Altieri, M. A., Nicholls, C. I. (2005). Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. Nairobi: United Nations Environment Programme.
3. Antal, J., Jolánkai, M. (2005) A növénytermesztés alapjai. Gabonafélék.
4. Berzsenyi, Z. (2024) Fenntartható növénytermesztés: Környezeti és termésreakciók, precíziós alkalmazások. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 533 p. (ISBN: 9789636230951)
5. Brenttrup, F., Hoxha, A., Christensen, B. (2016). Carbon footprint analysis of mineral fertilizer production in Europe and other world regions.
6. Chen, H.-S. (2015). The Establishment and Application of Environment Sustainability Evaluation Indicators for Ecotourism Environments. Sustainability, 7(4), 4727-4746. <https://doi.org/10.3390/su7044727> (https://www.researchgate.net/figure/Equivalence-factors-and-yield-factors-for-a-given-land-type_tbl2_276135963) <https://www.footprintnetwork.org/licenses/calculation-factors-free/>
7. Csutora M.(szerk) (2011) Az ökológiai lábnyom ökonómiája. Aula. Budapest
8. Ertsey A. (szerk) (2004) Autonóm város. Független Ökológiai központ
9. Ewing, B., Goldfinger S., Oursler A., Reed A., Moore D., Wackernagel M. (2009) Ecological Footprint Atlas
10. Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., Wackernagel, M. (2010). Calculation Methodology for the National Footprint Accounts
11. FAO & World Resources (2007)
12. FAO/IFDC (2006)
13. Fanning, A. L.; O'Neill, D.W.; Hickel, J; Roux, N (2022) The social shortfall and ecological overshoot of nations. Nature sustainability 26-36. p. 5(1)
14. G. M. Turner (2014). Is Global Collapse Imminent? Melbourne Sustainable Society Institute, The University of Melbourne
15. Global Footprint Network, URL: <https://www.footprintnetwork.org/licenses/calculation-factors-free/>, letöltés időpontja: 2025. 04. 30.
16. Global Footprint Network, URL: <https://data.footprintnetwork.org/#/>, letöltés időpontja: 2025. 10. 14.

17. Haverkort, A.J., Hillier, J.G. Cool Farm Tool – Potato: Model Description and Performance of Four Production Systems. *Potato Res.* 54, 355–369 (2011).
<https://doi.org/10.1007/s11540-011-9194-1>,
https://www.researchgate.net/publication/239848236_Cool_Farm_Tool_-_Potato_Model_Description_and_Performance_of_Four_Production_Systems
18. ISPA (2019)
19. KSH, URL: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0018.html, letöltés időpontja: 2025.04.26
20. Lal, R (2004) Carbon emission from farm operations, *Environment International*, Vol. 30, 7 I. 981-990 p., ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412004000832>)
21. Lenzen, M. és Murray, S. A. (2003) The ecological footprint–issues and trends. *ISA research paper.* 1(3).
22. Lenzen, M. és Murray, S.A. (2001) A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics.* 37(2), 229-255. p.
23. Mancini, M. S.; Galli, A; Niccolucci, V; Lin, D.; Bastianoni, S.; Wackernagel, M; Marchettini, M. (2016). Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation. *Ecological Indicators.* Vol. 61. No 2. 390-403. p., ISSN 1470-160X.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15005269>
24. Meadows, Da., Randers, J., Meadows, Do. (2004) A növekedés határai, harminc év múltán. Budapest: Kossuth Kiadó
25. Merz, J. J.; Barnard, P.; Rees, W. E.; Smith, D.; Maroni, M.; Rhodes, C. J.; Dederer, J. H.; Bajaj, N.; Joy, M. K.; Wiedmann, T.; Sutherland, R. (2023) World scientists’ warning: The behavioural crisis driving ecological overshoot. *Science Progress.* 106(3).
doi:[10.1177/00368504231201372](https://doi.org/10.1177/00368504231201372)
26. MTI: Kritikus érték felett a magyar ökológiai lábnyom, 2007
27. Nemecek, T., Kägi, T. (2007): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. In: *Ecoinvent Report.* Swiss Centre for Life Cycle Inventories. No. 15
28. Nemecek, T., Roesch, A., Bystricky, M., Jeanneret, P., Lansche, J., Stüssi, M., Gaillard, G. (2023). Swiss Agricultural Life Cycle Assessment: A method to assess the emissions and environmental impacts of agricultural systems and products. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 29. 1-23. [10.1007/s11367-023-02255-w](https://doi.org/10.1007/s11367-023-02255-w).

29. Pappné Vancsó J. (2004). Az ökológiai lábnyom: a fenntartható fejlődés mérőeszköze, Földrajzi Közlemények CXXVIII. (LII.) kötet, 1-4.szám
30. Sándorné Kriszt, É. (2023) A fenntartható fejlődés mérése statisztikusi szemmel. In: Szegedi, Krisztina (szerk.) Integrált gondolkodás és integrált vállalati jelentés: Fenntarthatósági kockázatok a gazdasági és energetikai válság árnyékában – BGE Magyar Tudomány Ünnepe konferencia kötet. Budapest: Budapesti Gazdasági Egyetem, pp. 209-218., 10 p.
31. Semeraro, T., Scarano, A., Leggieri, A., Calisi, A., De Caroli, M. (2023). Impact of Climate Change on Agroecosystems and Potential Adaptation Strategies. *Land*, 12(6), 1117. <https://doi.org/10.3390/land12061117>
32. Szigeti C-B. A.(2012). Lokális ökológiai lábnyom-számítás, kritikák és jó gyakorlatok, Polgári Szemle, 8. Évfolyam, 3-6. Szám URL: http://polgariszemle.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=500:lokalis-oekologiailabnyom-szamitas-kritikak-es-jogyakorlatok&catid=114&Itemid=110
Letöltés ideje: 2025. 03. 30.
33. Taksás, B. és Nagy, B. (2023). A fenntarthatóság mérése a hazai és nemzetközi indikátorrendszerek alapján. *Acta Humana – Emberi Jogi Közlemények*, 11(3), 47–64. <https://doi.org/10.32566/ah.2023.3.3>
34. Tamás, F. (2014). A fenntarthatóság mérése. Knoll Imre–Lakatos Péter (szerk.): Közzolgálat és fenntarthatóság. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2014b, 25-47.
35. Tenk, A. (2010). Természeti erőforrás és környezetgazdálkodás 6. A környezetszabályozás gazdasági és jogi eszközei, Nyugat-magyarországi Egyetem
36. Tóth, J. (2012) Eltartóképeség és növekedés. Bajmócy, Z., Lengyel, I., Málóvics, Gy. (szerk.) Regionális innovációs képesség, versenyképesség és fenntarthatóság. 283-302. p.
37. WWF: LivingPlanetReport, 2000

Online források:

1. treehugger.com, <https://www.treehugger.com/what-is-ecological-footprint-4580244>
Alane Lim, letöltés időpontja: 2025. 09.15.

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetem témavezetőmnek, Dr. Lukács Aurél István egyetemi docens úrnak, aki értékes tanácsaival és folyamatos szakmai iránymutatásával segítette munkám a dolgozatom megírása során.

Továbbá szeretném megköszönni családomnak a rendszeres támogatást, illetve biztatást, amely nélkül nem sikerült volna elérnem ezt az eredményt. Hálával tartozom barátaimnak, hallgatótársaimnak, akik a nehéz pillanatokban is mellettem álltak. Emellett köszönettel tartozom kedves tanárainknak, professzorainknak, akik az elmúlt néhány évben rengeteget segítettek és tudással bővítették ismereteinket.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

**a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről**

A hallgató neve: FAIK ANDREA
A Hallgató Neptun kódja: NO1SQ5
A dolgozat címe: PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIÁK HATÁSA KÖZEPES MÉRETŰ
2025. SZANTOFÖLDI NOVENYTERMESZTÉST VÉGZŐ GAZDASÁGI
A megjelenés éve: KÖRMEZETTERHELÉSE RE
A konzulens intézetének neve: MŰSZAKI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: MEZŐGAZDASÁGI ÉS ÉLELMISZERIPARI
GEPEK TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozással valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemtulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: Kaposvár 2025 év 10 hó 30 nap

Faik Andrea
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

FAIK ANDRÉA (név) (hallgató Neptun azonosítója: NO1SQ5)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre **javaslom / nem javaslom**².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: Kaposvár 2025 év 10. hó 30. nap



belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

**Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI)
alkalmazásáról**

1. Általános adatok

Hallgató neve:	FAIK ANDREA
Neptun-kódja:	NOISQ5
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	SZAKDOLGOZAT KÉSZÍTÉS
A munka címe:	PRÉCÍZIÓS TECHNOLÓGIÁK HATÁSA KÖZEPES MÉRETŰ SZÁNTÓFÖLDI NÖVEJTERMESZTÉS VÉGZŐ GAZDASÁGOK KÖRNYEZETTERHEKÉSERE

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
ötletelés	Chat GPT 5.0	SZAKIRODALOM

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
----------------------	---	----------	---	---

--	--	--	--

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Kaposvár....., 2025. 10..... hó 30..... nap

Faik Anikó.....
 Hallgató aláírása

[Signature].....
 Konzulens/Témavezető aláírása

A feladat címe	AI-eszköz neve	MI-eszköz neve	Az éhített leírt / táblázat pontos sorozata	A prototípus / tartalmzó melléklet / bejegyzésének sorozata
----------------	----------------	----------------	---	---