



Környezettudományi Intézet

NAPELEMPARKOK LEHETSÉGES HATÁSAI A TALAJ MEZOFAUNÁJÁRA

TDK dolgozat

Készítette:

Adamcsek Flóra

KHXCNZ

Környezetmérnök, alapszak

Nappali tagozat

Szent István Campus

Témavezető:

Dr. Seres Anikó, egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

Szent István Campus,

Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet,

Állattani és Ökológiai Tanszék

**Gödöllő
2024.**

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzések	3
2. Irodalmi áttekintés	4
2.1. Napelemparkok növekvő szerepe a megújuló energiaforrások között.....	4
2.2. Napelemparkok környezeti hatásai	5
2.3. Mezofauna jelentősége az ökoszisztémában	7
2.4. Mezofauna sokfélesége	8
2.5. Mezofauna lehetséges válaszai a különböző környezeti bolygatásokra.....	9
3. Anyag és módszer	11
3.1. Mintavételi terület bemutatása.....	11
3.1.1 A napelemparkok földrajzi helye, éghajlati viszonyok, a talaj típusa.....	11
3.1.2. A kiválasztott parkok jellemzői	12
3.1.3. Kontroll területek meghatározása és leírása	14
3.2. Mezofauna mintavétel, a vizsgált élőhelyek.....	15
3.2.1. Talaj mintavétel.....	15
3.2.2. Mezofauna kifuttatása	16
3.3. Élőlények azonosítása és kategorizálása, a QBS módszer.....	17
3.4. Környezeti tényezők mérése és a talaj fizikai és kémiai paraméterei	19
3.5. Adatok kiértékelése, statisztikai módszerek	20
4. Eredmények és értékelésük	21
4.1. Mérési célok	21
4.2. Egyedszám	21
4.2.1. Talajmélység hatása az egyedszáma.....	21
4.2.2. Élőhelyek hatása az egyedszáma.....	23
4.3. QBS-érték	24
4.3.1. Talajmélység hatása a QBS-értékre	24
4.3.2. Élőhelyek hatása a QBS-értékre.....	25
4.4. Talajnedvesség	26
4.5. Diskusszió és következtetések	27
5. Összefoglalás	29
6. Köszönetnyilvánítás	30
7. Irodalomjegyzék.....	31
8. Melléklet	35

1. Bevezetés és célkitűzések

Az elmúlt évtizedekben világszerte folyamatosan növekszik a megújuló energiaforrások szerepe, válaszként a klímaváltozás kihívásaira és a fosszilis energia hordozók korlátozott rendelkezésére állására. A napelemparkok kiemelkedő jelenségre tettek szert ebben a folyamatban, mint a napenergia hasznosításának egyik legelterjedtebb és leghatékonyabb módja. Azonban a gombamód szaporodó napelemparkok természeti környezetre gyakorolt hatásáról még meglehetősen keveset tudunk, különösen a napelemparkok hosszútávú hatásairól nincsenek adataink.

A vizsgálat, amiben részt vettem egy nagyobb kutatási project része, amelynek vezetője Dr. Gallé Róbert (HUN-REN, Ökológiai Kutató Központ). A kutatási vizsgálat célja, hogy több élőlény csoport (talajon mozgó ízeltlábúak: pókok, futóbogarak, növények, denevérek, talajlakó fonálférgek, televényférgek, mezofauna) szakértőinek a bevonásával egy komplex értékelést adjon a napelemparkoknak az élővilágra gyakorolt lehetséges hatásairól. A kutatás kétéves időtartamú (2023-24), dolgozatomban az első évre vonatkozó adatokat dolgoztam fel. Vizsgálatomban a talaj mezofaunájához tartozó kis testű ízeltlábúak, a mikroarthropodák álltak a középpontban. A mezofauna mintavételében, kifuttatásában, az állatok számolásában és talajhoz való adaptációjuknak a meghatározásában egyaránt részt vettem a 2023-as és a 2024-es év során témavezetőm irányításával.

Kérdéseink a következők voltak:

1. Találunk-e különbséget a talajban élő mezofauna egyedszámában a napelem cellák alatt, között és egy kontroll területen két különböző talajmélységben?

2. Találunk-e különbséget a talajban élő mezofaunának a talajhoz, mint élőhelyhez való alkalmazkodás mértékében ökomorfológiai alapon a naplem cellák alatt, között és egy kontroll területen két különböző talajmélységben?

3. A talajnedvesség hatással van-e a három különböző élőhelyen talált mezofauna abundanciára?

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Napelemparkok növekvő szerepe a megújuló energiaforrások között

A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) adatai szerint a napenergia volt a leggyorsabban növekvő villamosenergia-termelési technológiai az elmúlt években. A 2021-es évben a globális napenergiakapacitás növekedése elérte a 17%-ot, ami jelentős növekedést jelent az előző évekhez képest. Előrejelzések szerint 2026-ra az üzembehelyezett fotovoltaiikus kapacitás elérheti a 1100 GW-ot, ami a kétszerese az előző öt évben tapasztalt növekedésnek.

Az Európai Unió energiapolitikájában a napenergiái kiemelten fontos szerepet kap. Az Európai Zöld Megállapodás keretében az EU célja, hogy 2050-re klímasemleges legyen, amihez elengedhetetlen a megújuló energiaforrások arányának növelése. Ennek érdekében a tagállamokat számos támogatási program és jogszabály ösztönzi a napenergiái hasznosítására. A megújuló energia megvalósításának és az Európai Bizottság által kezdeményezett "zöld megállapodásnak" való megfelelés érdekében a napenergia fejlesztése teljes mértékben bővül (Perpiña Castillo et al., 2016).

Magyarországon is dinamikus növekedés figyelhető meg a napelemparkok telepítése terén. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) jelentése szerint 2020-ban a hazai beépített napenergiái-kapacitás meghaladta a 2000 MW-ot, ami többszöröse a néhány évvel korábbi értékeknek. Az ország földrajzi és klimatikus adottságai kedveznek a napenergia hasznosításának, és a megújuló energiaforrások fejlesztését a kormány is támogatja.

A napelemparkok elterjedése nemcsak energetikai, hanem környezeti és gazdasági szempontból is jelentős. Az üvegház hatású gázok kibocsátásának csökkenéséhez is hozzájárulnak, új munkahelyeket teremtenek, és elősegítik az energiafüggetlenséget. Azonban fontos vizsgálni a telepítésük és üzemeltetésük környezeti hatásait is, különösen az olyan élőhelyeket, mint a talaj és az ott élő a talaj termékenységben, valamint a biokémiai ciklusban alapvető szerepet játszó talaj faunát. Míg a napelemparkok száma folyamatosan növekszik, ökológiai helyreállításra van szükség a napelemparkok ökológiai hatásának enyhítéséhez, vagy akár a biológiai sokféleség és az ökoszisztéma működésének helyreállításához (Hernandez et al., 2019).

2.2. Napelemparkok környezeti hatásai

A napelemparkok az egyik leginkább fenntarthatónak tekintett energiaforrásnak számítanak, mivel működés közben nem bocsátanak ki közvetlenül szén-dioxidot vagy más káros anyagot. A napelemparkok telepítése és üzemeltetése különböző környezeti következményekkel jár, amelyek figyelembevételére szükség van (Solar Energy Development Environmental Considerations, 2021).

Pozitív környezeti hatások

- Üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése

A fotovoltaikus (PV) paneleket jelenleg a fosszilis tüzelőanyagok energiatermelési célú felhasználásának korlátozásának egyik eszközének tekintik, és a kibocsátások köztük a CO₂-kibocsátás csökkentésének egyik lehetséges megoldásának (Brodziński et al., 2021; De Sousa, 2013; Doví a Battaglini, 2015). A napelemparkok segítségével csökkenthetjük a fosszilis energiaforrásoktól való függést, ezzel mérsékelve az üvegházhatású gázok kibocsátását. Az életciklus-elemzések alapján egy napelem telepítése során kibocsátott szén-dioxid mennyisége töredéke annak, amit egy fosszilis erőmű kibocsát azonos mennyiségű energiatermelés során.

- Vízfelhasználás csökkentése

A hagyományos hőerőművek hűtési folyamataikhoz jelentős mennyiségű vizet igényelnek, a napelemparkoknak ezzel szemben nincsen ilyen vízigényük. Ez az olyan régiókban különösen fontos lehet, ahol a víz egy különösen szűkös erőforrás.

- Zaj- és légszennyezés minimalizálása

A napelemparkok működés közben nem bocsátanak ki káros anyagokat, és zajhatásuk is minimális, ami javítja a levegőminőséget és hozzájárul a csendesebb környezethez.

Negatív környezeti hatások

- Földhasználat és talajdegradáció

Európában a napelemparkok leggyakrabban szántóföldön vagy legelőn helyezkednek el, ami jelentős változást jelent a földhasználatban (MacKay, 2013). A napelemparkok telepítése gyakran nagy kiterjedésű területeket vesz igénybe, amelyek korábban természetes élőhelyek voltak. A mezőgazdasági termelést is korlátozza,

ugyanis a napelemparkok területét nem lehet mezőgazdasági célokra felhasználni. A napelemparkok építése tovább rontja a talaj fizikai-kémiai minőségét, ami az aggregátum stabilitásának csökkenésével és a felső talajréteg tömörödésével jár (Lambert et al., 2021), akadályozva a gyökérfejlődést és a mezofauna aktivitást (Chehaibi et al., 2013; Huang et al., 2020). Ez rontja a talaj víz- és levegőáteresztő képességét és csökkenti a talajtermékenységet.

- Biodiverzitásra gyakorolt hatás

A napelemparkok telepítése hatással van a fajok biológiai sokféleségének összetételére, és nagymértékben befolyásolja a természetes közösségek összetételét (Wang et al., 2021; Winkler et al., 2021). Az urbanizáció vagy a mezőgazdaság által okozott élőhelyfragmentáció az őshonos fajok elvesztéséhez vezet, és negatív hatással van a biológiai sokféleségre (Nichol et al., 2010; Syphard et al., 2011; Dylewski et al., 2020). A helyi növény- és állatvilágot kiszorítja a homogén infrastruktúra, amely nem kínál megfelelő élőhelyeket vagy táplálékforrást a fajok számára. Horváth et al. (2010), kimutatta, hogy a napelemcellák felülete ökológiai csapdákat hoznak létre ezzel megzavarva a vízi rovarok tájékozódó képességét, ami az egyedek pusztulásához vezethet, ha nem találják meg a számukra megfelelő élőhelyet. A napelemparkok alacsonyabb tápanyagtartalma és a panelek alatti mikroklíma változásai szintén megváltoztatják a talaj mikrobiális biomasszáját és az N és C körforgásban részt vevő enzimaktivitásokat (Lambert et al., 2021; Moscatelli et al., 2022).

- Anyag- és hulladékkezelés

A napelemek gyártásához számos ritka fémre és más anyagra van szükség, ezeknek a bányászata és feldolgozása környezeti károkat okozhat. A napelemek élettartama végén keletkező hulladékok kezelése, egyre nagyobb környezeti kihívást jelent, mivel még nem áll rendelkezésre újrahasznosítási infrastruktúra.

- Környezeti hatások:

A napelemek következménye a sajátos mikroklíma is, elsősorban a szélsébség változása, a fényviszonyok és a csapadék eloszlása (Hassanpour et al. 2018Armstr). A napelemparkok egyik kevésbé ismert környezeti hatása a fényvisszaverődés és a hőszennyezés. A napelemek felülete visszaveri a napfényt, ami zavarhatja a közeli ökoszisztémákat, különösen a madarakat, amelyek repülési útvonalai módosulhatnak a vakító fény miatt. A panelek felülete felmelegszik, ami helyi mikroklimatikus változásokat okozhat, ezzel befolyásolva a talaj hőháztartását (Barron-Gafford et al.,

2016). A napelemek továbbá elterelik a csapadékot, megváltoztatják a talaj páratartalmát, hőmérsékletét és ezek ingadozásait (Armstrong et al., 2016).

2.3. Mezofauna jelentősége az ökoszisztémában

A mezofauna a talaj biológiai közösségeinek egyik fő alkotóeleme, és kritikus szerepet játszik a talajminőség és számos ökoszisztéma-funkció fenntartásában (Barrios, 2007). A tanulmányozása alapvető fontosságú az ökoszisztémák egészsége szempontjából, a talajban betöltött sokrétű szerepe miatt. Az alábbiakban részletesen bemutatom a mezofauna jelentőségét, sokféleségét, valamint az élőhelyváltozásra való érzékenységet.

A talajfauna, mint a talajbióta fontos összetevője a talajszerkezetnek, rendkívül gazdag a legtöbb ökoszisztémában, és a teljes biológiai sokféleség nagy részét teszi ki (Anderson, 1975). A mezofauna az edafon (talaj bióta) egyik fontos csoportja, ami magában foglalja a milliméteres méretű, talajban élő ízeltlábúak egyes kistestű képviselőit, ezeket összefoglalóan mikroízeltlábúaknak (mikroarthropoda) nevezzük, ide tartoznak pl. az atkák és az ugróvillások. A mezofauna kulcsszerepet játszik a tápanyag-körforgásban és a szerves tápanyagok lebontásában. Az élőlények lebontják a növényi maradványokat, ezzel segítve a tápanyagok visszajutását a talajba, ami növeli a talaj termékenységét. A mezofauna vagy ténylegesen részt vesz a lebontási folyamatban, vagy szabályozza a lebontásban nagy szerepet játszó gomba és baktérium populációkat (Menta et al., 2018). Ezen kívül a mezofauna közvetlen és közvetett hatással van a növények növekedésére is, ugyanis segítenek a talaj levegőztetésében és a vízháztartás fenntartásában, ezzel kedvezőbb feltételeket biztosítva a növényi gyökerek számára. Az állatok ürülékében sokszor a növények számára felvehető formában N található. Továbbá a mezofauna táplálékforrásként szolgál a talajban élő más állatok számára, így alapvető részei a talaj táplálékhálózatának.

A mezofauna tagjai mozgásukkal és talajban végzett tevékenységükkel segítik a talaj szerkezetének javítását, a talaj levegő- és vízáteresztő képességének fenntartását. Az ugróvillások mozgásukkal járatokat hoznak létre a talajban, amik javítják a talaj levegőztetőképességét. Ez a növényi gyökérzet növekedéséhez különösen fontos, mivel így biztosítják a megfelelő oxigénellátást és vízáramlást. Ezenkívül a mezofauna a talaj aggregátumok kialakításához és fenntartásához is hozzájárul, amik segítenek a megőrizni a talaj stabilitását és ellenállását az erózióval szemben. Ez különösen a mezőgazdasági talajok

megőrzése szempontjából fontos, ahol a szerkezet meghatározza a termés hozamot és a talaj vízmegkötő képességét.

A mezofauna nélkülözhetetlen része a talaj ökoszisztémájának, mivel befolyásolja a talaj egészségét és termékenységét. Az apró élőlények hozzájárulnak a tápanyagok körforgásához, a talaj szerkezet fenntartásához és a biodiverzitás megőrzéséhez. Azonban a különböző emberi tevékenységek, mint például a mezőgazdasági művelés és a klíma változás, negatívan hatnak a talajállat közösségekre, ezért a talaj egészségének és stabilitásának megőrzése érdekében kulcsfontosságú a talajbióta diverzitásának fenntartása.

2.4. Mezofauna sokfélesége

A mezofauna egy rendkívül sokszínű csoport, ami számos taxont foglal magába, különösen talajlakó ízeltlábúakat, melyek közül a legfontosabbak ugróvillások (Collembola) és az atkák (Acari). Több másik csoport is tartozik ide (Pauropoda, Symphyla, Protura, Diplura, Enchytraeidae), de részletesen most az atkákat és az ugróvillásokat mutatom be, mert ezek egyed- és fajsza szám tekintetében a legjelentősebbek. Ezek a közepes méretű élőlények (0,1-4 mm átmérő) különböző funkcionális csoportokat alkotnak, amik alapvető szerepet játszanak a talaj ökológiai folyamataiban, mint a szerves anyagok lebontása, a tápanyagok körforgása és a talaj szerkezetének fenntartása.

A mezofauna egyedszámai eltérhetnek a különböző élőhelytípusok, talajtípusok és környezeti tényezők függvényében. Átlagos szabályként mondhatjuk, hogy zavartalan, természet közeli élőhelyeken több, mint 1000 példányuk él minden liter földben (Winkler Dániel & Traser György, 2017).

Az atkák (Acari) az ízeltlábúak (Arthropoda) törzsén belül a póksabásúak (Arachnida) osztályában az atkák (Acari) alosztályába tartozó kisméretű állatok. Egyszerű test felépítésűek, testük két fő részből áll, a szájszervekkel (gnathosoma) rendelkező részből, ami az előtest és a utótestből (idiosoma). Méretük 0,1-4 mm között változik, színük világostól a sötétbarnái vagy feketéig terjed. Testük alakja általában ovális vagy kerekded, és egy kemény páncélszerű kutikula fedi, sok esetben apró szőrszálakkal és pórusokkal borítva, amelyek érzékszervi funkciókat látnak el. Az atkák kinézete jelentősen változik a betöltött számos ökológiai szerepük függvényében.

- Az Oribatida atkák lassan mozgó páncélszerű borítással rendelkező fajok, amelyek lebontó szerepet töltenek be. Nagy számban fordulnak elő a talajban és az avarrétegben, ahol lebontják a szerves anyagokat és fontos szerepet játszanak a talaj tápanyagkörforgásában.
- A Mesostigmata atkák gyorsabb ragadozó atkák, amik számos ökoszisztémában találhatóak meg, ahol a talajban élő kisebb ízeltlábú populációkat szabályozzák, mint például a fonálférges és ugróvillások. Ezek az atkák fontos szerepet játszanak az ökoszisztéma stabilitásának fenntartásában a kártevők elleni biológiai védekezésben.
- A Prostigmata és Astigmata atkák kisebb méretűek és széles körben elterjedtek a talajban és a vízi környezetekben és akár állatokon is élhetnek, mint ektoparaziták.

Az ugróvillások úgynevezett elsődlegesen szárnyatlan (Apterygota), belső szájszervű (Entognatha vagy Parainsecta) rovarok (Winkler Dániel & Traser György, 2017). Az ugróvillások (Collembola) a hatlábúak (Hexapoda) altörzsén belüli a Parainsecta osztályba tartoznak. Apró hosszúkás testű, sokszor páncélozottnak tűnő talajlakók, nevüket a testük alsó részén található „ugróvilláról” kapták. Ez az ugróvilla egy speciális ugrószerkezet, ami segít, hogy gyorsan elmenekülhessenek a ragadozók elől. Méretük általában 0,2-6 mm között mozog, gyakran világos színűek, de vannak sötét és átlátszó egyedek is. Testük hengeres vagy enyhén lapított, és több szelvényből áll. Szemeik egyszerűek vagy teljesen hiányozhatnak mivel sok esetben, a talaj azon részén élnek, ahol a látás nem szükséges, ilyenkor a szemek elcsökevényesednek. Az ugróvillások fontos szerepe a talaj mikrostruktúrájának fenntartásában van. Mozgásukkal elősegítik a levegő és a víz áramlását a talajban, ezzel javítva a talaj szerkezetet és a termékenységét. Emellett lebontják a szerves anyagokat, hozzájárulva a tápanyagok újra hasznosításához és szabályozzák a lebontó gombapopulációkat.

2.5. Mezofauna lehetséges válaszai a különböző környezeti bolygatásokra

A mezofauna a talaj biológiai közösségeinek egyik fő alkotóeleme, és kritikus szerepet játszik a talajminőség és számos ökoszisztéma-funkció fenntartásában (Barrios, 2007). Élettörténeti jellemzőivel, valamint kis méretével, változatos ökológiai szerepével, viszonylag magas termékenységgel és könnyű mintavételezésével a mezofauna bioindikátorként szolgálhat a talajminőségre és az ökoszisztéma egészségére nézve (Gerlach et al., 2013). Általánosságban elmondható, hogy az Acari és a Collembola taxonok abundanciája hasznos

annak megértéséhez, hogy a talajbióta hogyan reagál a földhasználat ökoszisztémákra gyakorolt hatásaira és intenzitására (Black et al., 2003, Rutgers et al., 2009, Nielsen et al., 2010a, Arroyo et al., 2013), valamint az antropogén zavarok hatásaira (Tsiafouli et al., 2015).

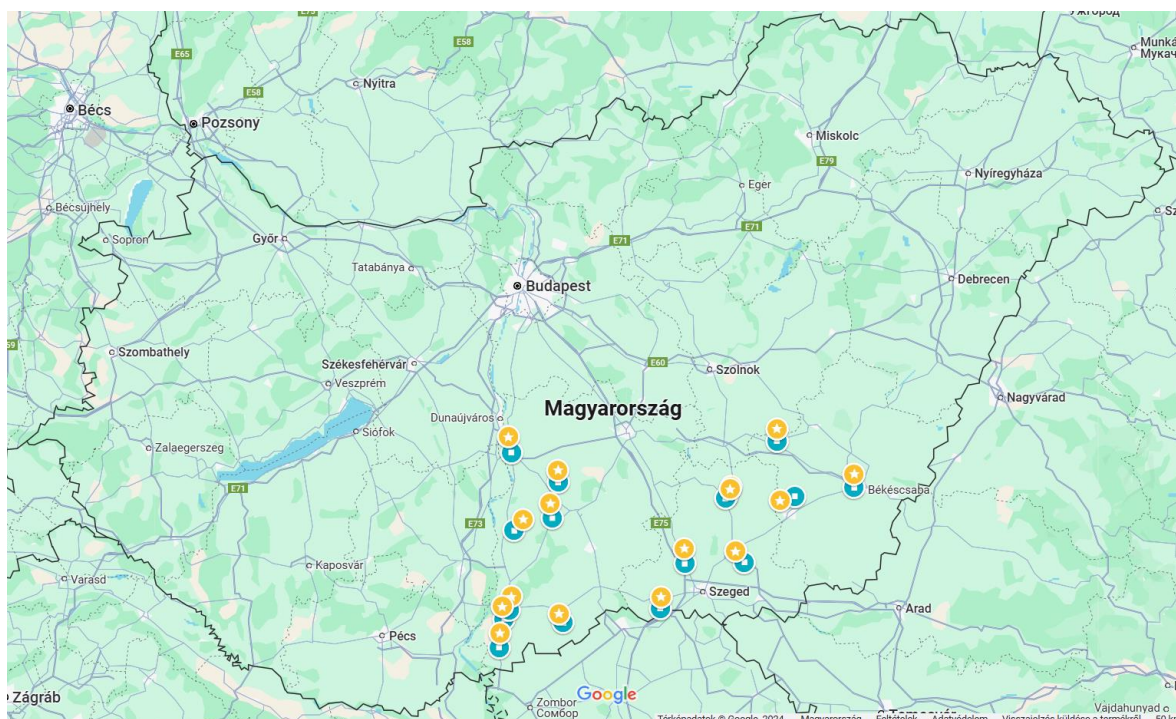
Az atkák és az ugróvillások száma csökken az alacsonyabb hőmérsékleten és a növényi biomassza csökkenés hatására is (Lafitte et al., 2023). Aupic-Samain et al. (2018, 2021) kimutatta, hogy a mezofaunához tartozó szervezetek abundanciája és sokfélesége alacsonyabb volt az alacsonyabb hőmérsékletű rendszerekben.

Paul et al. (2017) eredményei azt mutatják, hogy a mezofauna populációk hatékony környezeti indikátorok lehetnek, mivel következetesen érzékenyek az élőhelyek, a parcellaszintű talajosztály és a talaj fizikai jellemzőinek különbségeire.

3. Anyag és módszer

3.1. Mintavételi terület bemutatása

A kiválasztott mintaterületek bemutatása fontos a napelemparkok talajbiológiai hatásainak megértésében. Az alábbiakban részletezzük a napelemparkok földrajzi elhelyezkedését, a terület éghajlati viszonyait, a talajtípusait, a kiválasztott parkok technológiai jellemzőit és a kontroll területeket. A parkok és a kontroll területek elhelyezkedését az Alföldön az 1. ábrán mutatom be.



1. ábra/ Napelemparkok és a kontroll területek elhelyezkedése (kék: napelempark, sárga: kontroll terület). Saját szerkesztés.

3.1.1 A napelemparkok földrajzi helye, éghajlati viszonyok, a talaj típusa

A napelemparkok telepítésének helyszínválasztási szempontjából az Alföld földrajzi elhelyezkedése, éghajlati viszonyai és a talajtípus egyaránt meghatározó.

- Földrajzi helye: az Alföld Magyarország középső és keleti részén helyezkedik el, mintegy 50.000 km² területet lefedve. A terület jelentős része síkság, jelentéktelen

magasságbeli különbségekkel, ami ideális feltételeket biztosít a napelemparkok telepítéséhez. A tökéletes síkság megkönnyíti az építői munkálatokat, és az infrastruktúra kiépítése is könnyebb lapos területen, ezenkívül a domborzati viszonyok a talajfelszínre jutó napsütés mennyiségét nem korlátozzák.

- Éghajlati viszonyok: az Alföld éghajlata szárazföldi (kontinentális), amely ideális feltételeket biztosít a napelemes rendszerek számára. Az évi napsütéses órák száma magas, kevés felhőzet és a tartós napsugárzás biztosítja a napelemek optimális működését. A csapadék éves mennyisége 500-600 mm között mozog, ami viszonylag alacsonynak számít, és aszályos időszakokkal járhat. Az évi és a napi hőingadozás jelentős.
- Talaj típusa: az Alföld talaja változatos, ami a napelemparkok telepítésekor fontos tényező lehet. Az általunk vizsgált parkokban megtalálható talajtípusok a szolonyeces réti talaj, mészlepedékes csernozjom, csernozjom réti talaj, humuszos homoktalaj, réti csernozjom. Az Alföld egy része túlnyomóan szolonyeces talajokhoz tartozik. A szolonyeces réti talajok barnásfekete vagy fekete színűek, kismértékű szikesedés és kedvezőtlen vízgazdálkodás jellemzi. A mészlepedékes csernozjom talajok jellegzetessége a szelvényükben jelentkező mészlepedék, vízgazdálkodásuk és tápanyaggazdálkodásuk nagyon jó. A csernozjom réti talajok barnás árnyalatúak, mélyebb szinteken mészfelhalmozódás miatt rozsdafoltok jellemzik. A réti talajoknál jobb vízgazdálkodásúak, tápanyag-gazdálkodásuk pedig a csernozjoméhoz hasonló. A réti csernozjom talajok jellemzői a humuszos felhalmozódás és a gyenge vízhatás, szemcsés szerkezetűek, kedvező tápanyag-szolgáltató képességgel. A humuszos homoktalajok jellemzői a vastag humuszréteg, jó a víztartó és vízáteresztő képességük, viszont tápanyag-szolgáltató képességük gyengébb.

3.1.2. A kiválasztott parkok jellemzői

Az Alföldi napelemparkok jellemzői különböző tényezők mentén alakulnak ki, ezek a technológiai specifikációk, a parkok mérete és a fenntartható kezelések a parkok területén. Az alábbiakban ezeket a szempontokat részletezem. Az egyes parkokban alkalmazott technológiákat, fenntartó kezeléseket a mellékletben elhelyezett táblázatban foglalom össze (Melléklet 1. táblázat). Ezen paramétereket a táblázatban feltüntettem, de ezek hatását most az egy éves adatokra nem vizsgáltuk, ezek majd a kétéves adatokkal lesznek statisztikailag kielemezve.

- Technológia

Az Alföldi napelemparkok jellemzően ipari méretűek, amelyek célja az országos hálózatba való energiaellátás növelése. A parkok napenergia-alapú technológiát alkalmaznak, ami a fotovoltaiikus (PV) modulokra épül. Ezek a PV panelek szilícium alapúak, amelyek a napsugárzást közvetlenül elektromos árammá alakítják. A PV modulok szilícium alapú félvezető anyagokból készülnek, melyek a fotonok hatására elektromos áramot generálnak. Ezek közül az általunk mintázott parkoknál a monokristályos és a polikristályos típust használják (NRL).

A monokristályos panelek egyetlen kristályból készülnek, aminek az eredménye, hogy nagyobb a hatékonyságuk (18-22%). Ezeknek a paneleknek a helyigénye kisebb, viszont a gyártási költség magasabb. A napelemek előnye az Alföldön magas napos órák száma mellett a nagyobb termelési kapacitás. Ilyen például a szatymazi napelempark.

A polikristályos napelemek több kristályból állnak, ez csökkenti a gyártási költségeket, kisebb hatékonyságot eredményez (14-18%). A nagyobb területű parkok, mint a solti és a hódmezővásárhelyi, ezeket a típusokat alkalmazzák, mert a nagy területen gazdaságosabb telepíteni.

A parkoknál invertereket alkalmaznak, amik a napelemek által termelt egyenáramot váltakozó árammá alakítják, ami így az országos hálózatba táplálható. A nagyobb parkoknál, mint Kalocsa és Szarvas, központi invertereket alkalmaznak, amelyek nagy mennyiségű áramot képesek egyszerre kezelni, a kisebb parkoknál viszont decentralizált inverterrendszerek működnek.

A legtöbb parkban fix napelemek találhatók, néhány helyen például Békéscsabán a panelek speciális tartószerkezetre vannak felszerelve, és precíziós irányítási rendszerek segítségével követik a nap mozgását (trackerek). Ezek a rendszerek javítják az energiahatékonyságot, mivel a panelek folyamatosan a nap felé tudnak fordulni.

- **Parkok mérete**

A napelemek optimális elrendezéséhez, nagy egybefüggő területekre van szükség, így az Alföld különösen alkalmas a napelemparkok telepítésére. Az itt található parkok akár több hektáron is elterülhetnek, az általunk vizsgált napelemparkok általában közepes és nagy méretű telepek, amelyek 10MW és 25MW közötti kapacitással rendelkeznek. A kisebb parkok, mint például Szatymazon és Csátalján körülbelül 10 MW-osak, míg a nagyobb parkok, mint a szentesi vagy a kalocsai, akár 25 MW kapacitással is rendelkezhetnek.

- Fenntartó kezelések

A fenntartási módszerek szintén befolyásolják a napelemparkok hatását a talaj mezofaunájára. A gyomirtás, a kaszálás és a legeltetés különböző módon befolyásolja a talaj biológiai életét. A gyepterkezelés befolyásolta a talaj minőségét, ami közvetlen hatással volt a talaj ízeltlábú populációkra (Menta et al. 2023).

A kaszálás egy igen gyakran használt fenntartási módszer a parkokban. A kaszálás segít megszabadulni a növényzettől anélkül, hogy vegyi anyagokat kellene alkalmazni, ami közvetlenül hat a talajban élő organizmusokra. A jól végzett kaszálás a biodiverzitás fenntartásában is fontos lehet.

Egyes parkokban, mint például Békéscsabán a legeltetést használják, mint természetes gyomirtás, ami segít fenntartani a talaj termékenységét.

3.1.3. Kontroll területek meghatározása és leírása

Mivel a kontroll területek a napelemparkok hatásainak kimutatását célozzák egy bolygatatlan területhez képest, így olyan területeket kell választanunk, amelyek hasonló ökológiai és talajtani feltételekkel rendelkeznek, viszont nincs rajtuk napelem.

A kiválasztásnál figyelniünk kell, hogy a kontroll területen is hasonlóak legyenek az éghajlati viszonyok és mikroklíma, mint a napelemparkok területén. Ezzel biztosítva, hogy a faunában bekövetkező változásokat nem külső tényezők okozzák.

Fontos, hogy a kontroll területeken a növénytakaró is hasonló legyen a napelempark területén található növényzethez. Ez a tényező ugyanis befolyásolhatja a mezofaunát, hiszen a növények táplálkozási forrást és élőhelyet biztosít a talajlakó organizmusok számára.

Az eredményeket torzíthatják még a különböző emberi beavatkozások, mint a talajművelés vagy gyomirtás, így ahol ilyen aktivitás történt szintén nem alkalmas kontroll területnek. Hogy biztosan legyünk benne, hogy a talaj mezofaunájának változását a napelem panelek jelenléte, és nem a talaj tulajdonságai okozzák, olyan helyszíneket kell keresnünk, ahol a talajösszetétel és a szerkezet megegyezik a vizsgált napelempark területével.

Ezeket a kritériumokat figyelembe véve az alábbi kontrollterületeken vettünk mintát. A területek kiválasztását a vizsgálat vezető kutatója, Dr. Gallé Róbert (Hun Ren Ökológiai Kutató Központ) végezte, a fenti szempontok figyelembevételével.

3.2. Mezofauna mintavétel, a vizsgált élőhelyek

3.2.1. Talaj mintavétel

A vizsgálat során 16 napelemparkból vettünk mintát 2024 júliusában, a mintavétel 2-2 napig tartott két egymást követő héten. A pontos mintavételi időpontok és az aznapi időjárási körülmények a mellékeltben elhelyezett táblázatban olvashatóak (Melléklet, 1. táblázat). A mintákat két ismétlésben vettük a napelem panelek alól, a panelek közül és a választott természetközeli kontroll területekről. Minden napelemparkból és a hozzá tartozó természetközeli kontroll területéről 12-12 talajmintát (2. ábra) gyűjtöttünk, amelyeket aztán elfeleztünk a két különböző mélységnek (0-5 és 5-10 cm) megfelelően. Így a 16 napelemparkból, a 3 különböző kezelésből, a 2 ismétlésből és a 2 különböző mélységből összesen 192 talajmintát gyűjtöttünk. A mintavételhez kézi talajmintavevőt (3. ábra) használtunk (átmérő: 6 cm), aminek segítségével bolygatatlan talajmintákat tudtunk venni, így megőrizve a számunkra fontos talajlakó ízeltlábúakat. A mintákat feliratozott műanyag zacskóba tettük majd hűvös zárt helyen (hűtőtáskában) hősokktól védve szállítottuk.



2. ábra/ Talajminta (saját kép)



3. ábra/ Mintavétel talajmintavevővel (saját kép)

3.2.2. Mezofauna kifuttatása

A mintákból Tullgren-Berlese (4. ábra) futtató segítségével nyertük ki a mezofaunába tartozó kistestű élőlényeket. A futtató alapelve, hogy a kiszáradást nem tűrő szervezetek egyre mélyebbre mozognak a talajban mígnem a tölcser aljában egy gyűjtő tartályba esnek. A futtatás 5 napig tartott, ez idő alatt a talaj teljesen kiszáradt, az állatok pedig összegyűltek a tároló edényben. A minták tartósításához glicerint és 75 %-os alkohol keverékét használtunk, 1:2 arányban. Az alkohol tartósította az állatokat, a glicerin pedig megakadályozta, hogy a futtatás alatt az alkohol teljesen elpárologjon és az állatok kiszáradjanak.



4. ábra/Tullgren-Berlese futtató (saját kép)

3.3. Élőlények azonosítása és kategorizálása, a QBS módszer

A QBS-index egy újfajta megközelítés a talaj biológiai minőségének értékelésére, ami a talajlakó mikroízeltlábúak csoportjain alapul. Annak függvényében, hogy az adott ökotípus mennyire alkalmazkodott a talajhoz, mint környezetéhez egy 1-től 20-ig terjedő pontszámot (ökomorfológiai index, EMI) kap.

1. táblázat/ (forrás: Parisi et al. 2005), Seres (2023)

Csoport	EMI pontszám
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1–20
Microcoryphia	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptera	1–20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1–10
Thysanoptera	1
Coleoptera	1–20
Hymenoptera	1–5
Diptera (lárvák)	10
Egyéb holometabol rovarok (lárvák)	10
Egyéb holometabol rovarok (kifejlett egyedek)	1
Acari	20
Araneae	1–5
Opiliones	10
Palpigradi	20
Pseudoscorpiones	20
Isopoda	10
Chilopoda	10–20
Diplopoda	10–20
Pauropoda	20
Symphyla	20

A talajlakó mikroízeltlábúak különböző morfológiai jellemzőkkel rendelkeznek, amik jelzik a talaj környezethez való alkalmazkodásukat ilyenek például a pigmentáció, és a szemek visszafejlődése vagy elvesztése, rövidebb és kompaktabb függelékek (szőrszálak, antennák, lábak) illetve áramvonalas testforma. A repüléshez, ugráshoz vagy futáshoz való alkalmazkodás képességének csökkenése, vagy teljesen elvesztése, csökkent vízvisszatartó képesség például vékonyabb kutikula, a hidrofób vegyületek hiánya a külső felületen (Parisi et al., 1974). Ezeknek a pontszámoknak az összege a QBS-index, ami jellemzi a vizsgált minta mikroízeltlábú közösségét. A mintában a biológiai formák megállapításához, a különböző csoportok esetében megállapítjuk a talajhoz való alkalmazkodási szintjüket. A QBS-módszer alkalmazásában a magasabb taxonómiai csoporton belül meg kell keresnünk a talajhoz

leginkább alkalmazkodó biológiai formát (morfotípust). A morfotípusok az alkalmazkodási szintjükkel arányos ökomorfológiai indexet (EMI) kapnak (1. táblázat).

A mély talajban élő vagy valódi talajlakó (euedafikus) formák EMI 20 pontszámot kapnak, a köztes (hemi-endafikus) formák a specializáció mértékével arányos indexbesorolást kapnak, a felszínen élő formák pontszáma pedig EMI=1.

Vannak olyan csoportok, amelyeknek egyetlen EMI-értéke van ilyenek például az előrovarok (Protura) vagy a lábaspotrohúak (Diplura) taxonok, ezeknek az EMI pontszáma 20, mivel ezekben a csoportokban található valamennyi faj hasonlóan alkalmazkodott a talajhoz. Az ugróvillás (Collembola) vagy a bogarak (Coleoptera) taxonok esetében az EMI-értékek tartományával jellemezhetjük a csoportokat, mivel az itt található fajok különböző szinteken alkalmazkodtak a talajhoz. A következő táblázatban láthatjuk mi alapján kell az ugróvillásokhoz (2.táblázat) és más csoportokhoz (3.táblázat) az EMI-értéket rendelni.

2. táblázat/(forrás Parisi et al. (2005), Seres A. (2023))

Tulajdonság	EMI pontszám
(1) Egyértelműen felszínfeletti formák: közepes vagy nagy méret, összetett pigmentáció, hosszú, jól fejlett függelékek, jól fejlett látókészülék (szemfolt és szem)	1
(2) A füvekhez, cserjékhez vagy fákhoz nem kötődő felszíni típusok, jól fejlett függelékek (opcionális), jól fejlett szőrök vagy védőborítás, jól fejlett látókészülék	2
(3) Kis méretű – bár nem feltétlenül – állatok, általában a korhadó rétegben találhatóak, kevés pigmentációval, átlagos hosszúságú függelékekkel, fejlett látókészülékkel	4
(4) Hemiedafikus formák látó szerveik még fejlettek, függelékeik nem megnyúltak, kutikula, pigmentáció jellemző	6
(5) Hemiedafikus formák csökkent számú ommatidával (egyszerű szem), gyengén fejlett függelékekkel, gyakran rövid vagy hiányzó ugróvilla, pigmentáció megfigyelhető	8
(6) Valódi talajlakó formák pigmentáció nélkül, csökkent vagy hiányzó ommatidák, ugróvilla jellemző – de megrövidült formában	10
(7) Egyértelműen valódi talajlakó formák: nincs pigmentáció, hiányzik az ugróvilla, rövid függelékek, jellegzetes struktúrák jelenléte mint például pszeudo-oculusok, fejlett posztantennális szervek (ez a tulajdonság nem feltétlenül van jelen), apomorf érzékszervi struktúrák	20

3. táblázat/forrás: Parisi et al. (2005), Seres A. (2023)

Orthoptera	Általában Kivéve a Grillidae családot	EMI 1 Amelynek EMI 20
Hemiptera	Általában többnyire föld feletti vagy gyökérevő formák	EMI 1
	Kabóca lárvák	EMI 10
Coleoptera	Egyértelműen talajfelszíni formák A földalatti élethez való alkalmazkodás főbb jelei, melyek az egyedek közvetlen vizsgálatával kimutathatók: (a) 2 mm-nél kisebb méretek 4 pont; (b) vékony kültakaró, gyakran téglaszínű (sárgásbarna) színfoltok 5 pont; (c) a hátsó szárnyak erősen visszafejlődtek vagy hiányoznak 5. pont; (d) mikroftalmia vagy anoftalmia 5 pont; Ezeknél a típusoknál az EMI-érték megegyezik a talált tulajdonságokra kapott pontok összegével – pl. ha csak (a) és (b) van jelen, akkor az EMI pontszám = 1 + 4 + 5 = 10.	EMI 1
Hymenoptera	Általában	EMI 1
	Formicidae	EMI 5
Araneae	Kis méretűek, alig pigmentáltak Méret >5 mm	EMI 5 EMI 1
Diplopoda	Méret >5 mm Méret <5 mm	EMI 5 EMI 20
Chilopoda	Méret >5 mm, jól fejlett lábak Egyéb formák	EMI 10 EMI 20

A magasabb EMI fogja meghatározni a pontszámot abban az esetben, ha a csoportban két ökomorfológiai forma van jelen. Vagyis a csoportban a talajhoz legjobban alkalmazkodó mikroizeltlábúak határozzák meg a csoport EMI pontszámát. A minta QBS-pontszámának kiszámításához pedig össze kell adni az összes összegyűjtött csoport EMI-értékét.

3.4. Környezeti tényezők mérése és a talaj fizikai és kémiai paraméterei

Bár a környezeti tényezők, a talaj fizikai, illetve kémiai paraméterei szintén befolyásolják a talaj állapotának meghatározását, a talaj nedvességtartalmán kívül ezeket a mostani vizsgálatban nem mértük. Ennek oka az volt, hogy a kontroll területeken nem tudtunk hőmérséklet és talajnedvesség szondákat hagyni, a napelemparkokba is nagyon nehéz volt a

bejutás. A talajnedvességi adatokat minden területen 10 ismétlésben mértük különböző időpontokban (május, július, augusztus). Az itt bemutatott adatok a három különböző időpontban vett minták átlagértékei az egyes élőhelyeken. A talajnedvességet egy TDR 350 Soil Moisture Meter (Time Domain Reflectometry) segítségével mértük, amelynek tűje 12 cm hosszú volt, így az eredmények a felső 12 cm átlagát mutatták. A TDR technológia lehetővé teszi a talaj nedvességtartalmának gyors és pontos mérését, mivel a készülék elektromágneses impulzusokat használ a nedvesség szintjének meghatározására (Haverkamp et al., 2016).

3.5. Adatok kiértékelése, statisztikai módszerek

A dolgozatban statisztikai vizsgálatot alkalmaztunk a három élőhely és a talajmélység hatásainak vizsgálatára. Két utas ANOVA tesztet használtunk, magyarázó változók voltak a talajmélység (sekély, mély) illetve az élőhely (panel alatt, között és kontroll). A függő változóink a következők voltak: összegyedszám, QBS érték, talajnedvesség. Post hoc tesztként Tukey-tesztet végeztünk a QBS érték és a talajnedvességek esetében. Az összes tesztet az R-program segítségével hajtottuk végre (R Core Team, 2023).

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Mérési célok

A jelenlegi kutatás célja a különböző élőhelyeknek (napelemek alatt, napelemek között és a kontroll területek) és talajmélységeknek a talaj mezofaunájára gyakorolt hatásainak vizsgálata. A vizsgálat célja, hogy átfogó képet nyújtson a napelemparkok által érintett talajok biológiai aktivitásáról. A cél a különböző mélységek és kezelések hatásának összehasonlítása a talaj mezofauna egyedszámára és QBS-értékére. A QBS (The Soil Biological Quality index) értékek a különböző populációk talajhoz való alkalmazkodásának a mértékét jelzik ökomorfológiai alapon. A kutatás célja továbbá annak megértése, hogy a talajmélység (0-5 cm, 5-10 cm) hogyan befolyásolja az egyedszámot a QBS-értéket és a talajnedvességet. A talajnedvesség mérésének fő célja, hogy nyomon kövessük a különböző kezeléseknél a talajnedvesség változását, ami fontos tényező a biológiai aktivitás szempontjából, és hatása van a talajéletre is. A különböző mérések segítenek, hogy részletesebb képet kapjunk a napelemparkok hatásairól, aminek segítségével megfelelő talajművelési stratégiákat tudunk kialakítani, ezzel segítve a talajélet megőrzését.

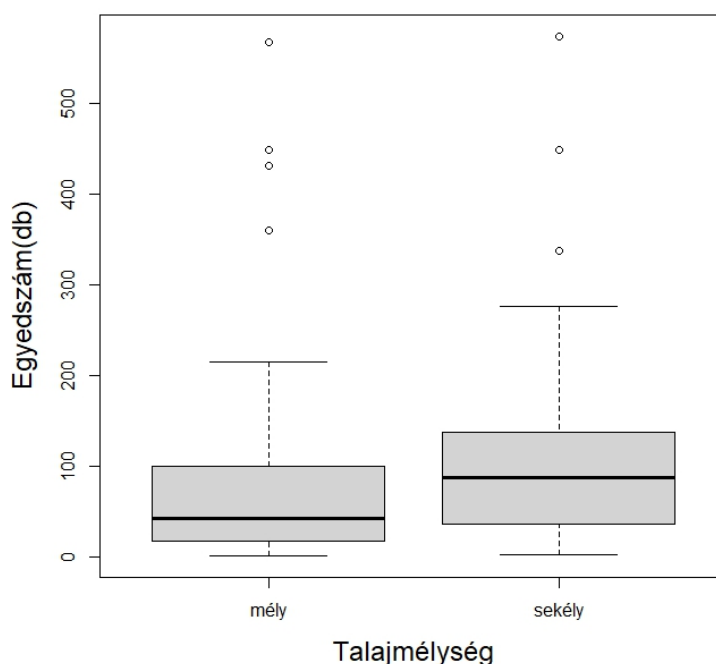
4.2. Egyedszám

Az egyedszám méri a talajban élő szervezetek (pl: atkák, ugróvillások) populációinak sűrűségét. A kifuttatott talajminta egységekben az egyedszámok változása a három élőhelyeken jelezheti azok populációkra gyakorolt hatását. Ez az adat összefügg a talaj biológiai aktivitásával és egészségével. A mezofauna egyedszáma a talajmélység és a kezelések függvényében változott.

4.2.1. Talajmélység hatása az egyedszáma

Az elemzés során külön vettük a sekély (0-5 cm) illetve mély (5-10 cm) talajrétegből gyűjtött mintákat és ezekben hasonlítottuk össze az egyedszám változását. A sekély talajban az átlagos egyedszám $178,78 \pm 74,17$ egyed, míg a mélyebb talajrétegben az átlagos egyedszám $169,91 \pm$ egyed volt talajmintánként. Ezek az értékek az összes élőhelyen mért egyedszámok

átlagai. Az átlagok alapján látható, hogy a sekély rétegben valamivel nagyobb volt az egyedszám, mint a mély rétegben. Ez arra utal, hogy a sekély talajréteg kedvezőbb feltételeket biztosít a mezofauna számára, például nagyobb tápanyag-ellátottság és jobb oxigénellátás miatt. A boxplot ábra a mély és sekély talajrétegek mezofauna egyedszámának eloszlását mutatja (5. ábra). A szélsőértéke (kiugró pontok) mindkét talajmélység esetén megfigyelhetők, de a sekély talajban több szélsőérték van, ami a nagyobb változatosságot és esetenként magasabb egyedszámot jelez.



5. ábra/ Talajmélység hatása az egyedszámra

A sekély talajban az adatok mediánja is magasabb, mint a mély rétegben. A varianciaanalízis eredményei alapján a talajmélységnek szignifikáns hatása van a mezofauna összegyedszámára (F érték: 5,37, p érték: 0,02). Mivel $p < 0,05$, ez azt jelenti, hogy a különbség a sekély és mély talajban található egyedszámok között statisztikailag szignifikáns. Ez arra utal, hogy a talajmélység valóban hatással van mezofauna talajmélység szerinti eloszlására és egyedszámaira.

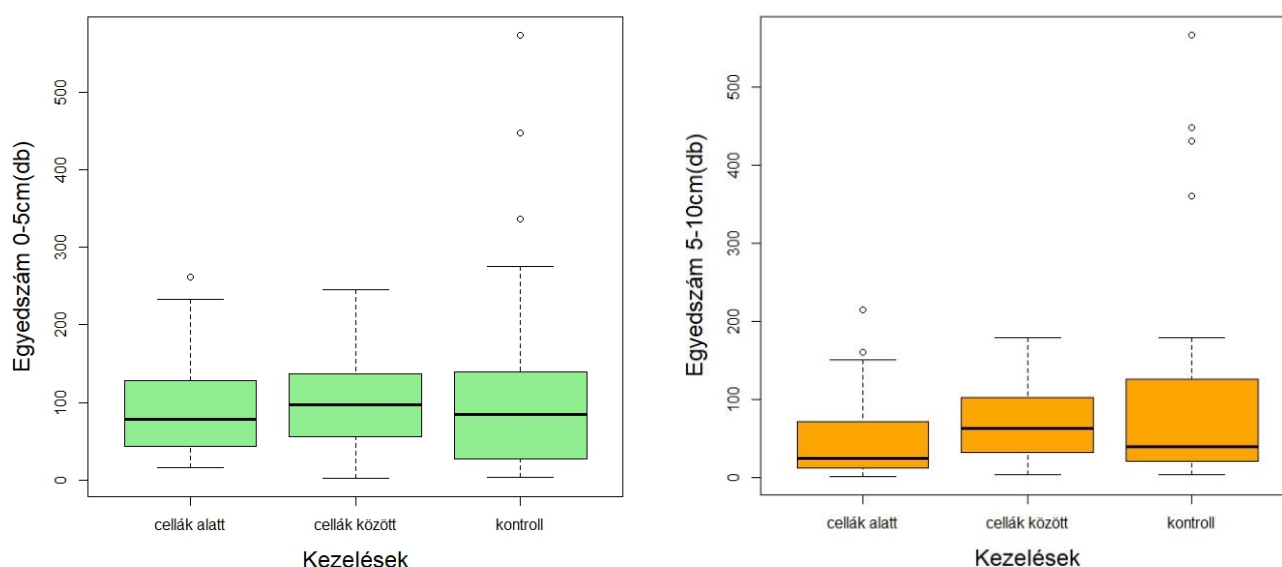
4.2.2. Élőhelyek hatása az egyedszámba

A következőkben az egyedszámok eloszlását elemzem a különböző élőhelyeken (cellák alatt, cellák között és a kontroll területek) és talajmélységekben (0-5 cm, 5-10 cm). A cellák alatt az átlagos egyedszám a sekély rétegben $160,4 \pm 70,1$ míg a cellák között $173,5 \pm 76,5$ egyed volt. A kontroll területeken ehhez képest $184,2 \pm 79,3$ darab egyedet számoltunk mintánként.

Az átlagos egyedszám a mély rétegben a cellák alatt $145,7 \pm 73,2$ egyed, míg a cellák között $165,1 \pm 77,8$ egyed volt, a kontroll területeken pedig $175,3 \pm 82,4$ egyedet számoltunk.

Az eredmények alapján látható, hogy a kontroll területeken mind a kettő mélységben magasabb az egyedszám átlaga és a szórása is, mint a panelek alatti vagy közötti területeken. A legkisebb átlagos egyedszám mind a két mélységben a panelek alatti területen volt, ami azt jelzi, hogy itt vannak a legkedvezőtlenebb feltételek a mezofauna számára.

Az boxplot ábrán (6. ábra) az látható, hogy a cellák közötti élőhelyeken a medián érték magasabbak, mint a cellák alatti és a kontroll területeken. A kontroll területeken megfigyelhető néhány szélsőérték is, amelyek magasabb egyedszámot jeleznek bizonyos mintákban. Ez a nagyobb variabilitás arra utalhat, hogy a kontroll területek nagyon különbözőek voltak, hiszen főleg homoktalajon jó természetességű gyepeket tudtunk kijelölni, míg a Békés megyei területeken csak felhagyott szántókat, hiszen itt a területek nagy része mezőgazdasági művelés alá került. A kezelések közül a panelek alatti terület mutatja a legalacsonyabb medián értéket és



6. és 7. ábra/ Kezelések hatása az egyedszámba a sekély és a mély rétegben

a legszűkebb interkvartilis tartományt, ami az élőhely kisebb változatosságára és gyengébb minőségére utalnak.

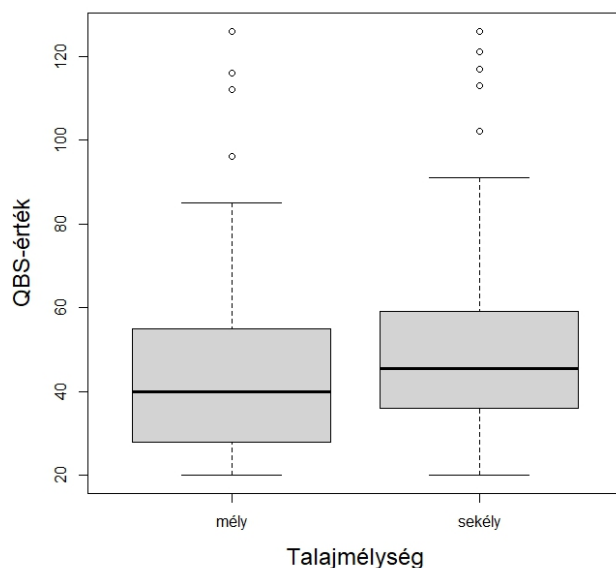
A következő ábrán (7. ábra) a mély talajrétegben látszik a különböző kezelések összehasonlítása. A medián érték a cellák között itt is magasabb, mint a többi kezelésben. Ez arra utal, hogy a mélyebb rétegben is itt a legkedvezőbbek a körülmények a mezofauna számára. A legalacsonyabb medián érték a cellák alatti kezelésben figyelhető meg, ami valószínűleg a napelemparkok kialakításakor és fenntartásakor alkalmazott kezelésekkel magyarázhatóak, ugyanis itt a legtöbb esetben vegyszeres gyomirtást alkalmaztak. A kontroll területeknél a mélyebb rétegben is több a kiugró adat, ami a kontroll területek közti különbségekre utal.

A különböző kezelések közötti különbség statisztikailag nem szignifikáns $p > 0,05$, de közel áll hozzá (F-érték: 2,66, p-érték: 0,073). Ez arra utal, hogy a különböző élőhelyek bizonyos mértékben befolyásolják az egyedszámot, de a nagy szórások miatt ez a különbség nem igazolható statisztikailag. 2023-ban 16 napelemparkot vizsgáltunk, reményeink szerint a 2024-ben mintázott újabb 16 napelempark vizsgálata megerősíti ezeket az eredményeket és robosztusabb különbségeket fogunk majd kapni.

4.3. QBS-érték

3.3.1. Talajmélység hatása a QBS-értékre

Az alábbiakban részletesen elemzem a QBS-értékek alakulását a talajmélységek függvényében. A mély rétegben a QBS-érték átlaga $51,8 \pm 20,1$, a sekély rétegben a $57,1 \pm 19,5$, volt. Ezek az eredmények az ábrán is látszanak (8. ábra), a sekély talajrétegben a medián értéke is magasabb, ez arra utal, hogy a sekély rétegben több olyan talajlakó szervezet található, amelyek adaptálódtak a talajélethez. Mindkét talajrétegben kiugró értékek is megfigyelhetők, amelyek különösen magas QBS-értéket jelölnek, ezek a kiugró értékek a talaj változatosságára utalnak. Bár az átlagok és a mediánértékek alapján különbség figyelhető meg a két réteg QBS-értékében, a p érték alapján a talajmélység hatása a QBS-értékre nem szignifikáns (F-érték, $p = 0,098$), ennek oka valószínűleg a nagy szórásokban keresendő.



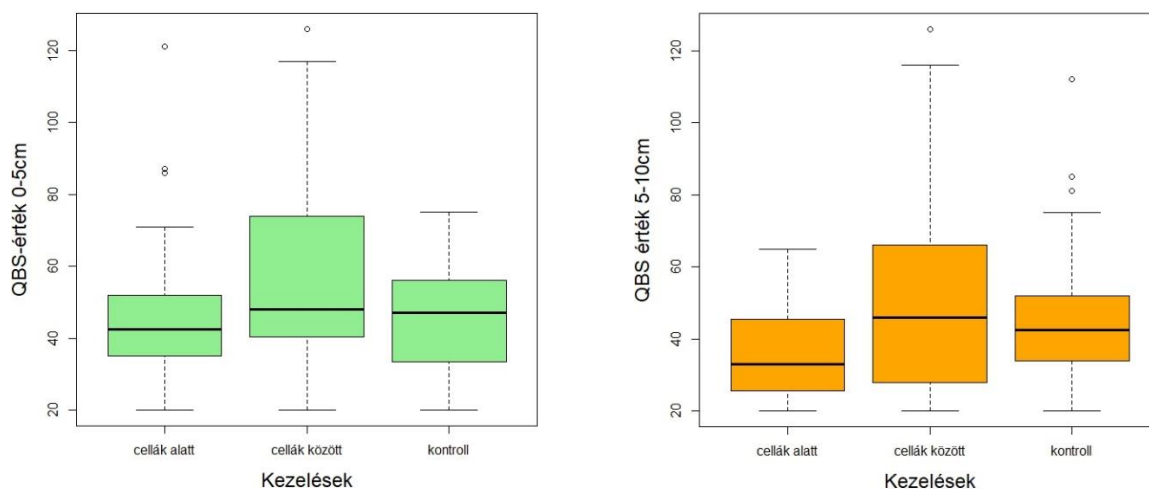
8. ábra/ Talajmélység hatása a QBS-értékekre

4.3.2. Élőhelyek hatása a QBS-értékekre

A QBS-értékeket a különböző élőhelyek függvényében is vizsgáltuk. A cellák alatt az átlagos QBS-érték $43,2 \pm 16,8$, a cellák között $58,7 \pm 25,4$, míg a kontroll területeken $50,3 \pm 20,7$ volt. Az eredmények alapján a QBS-értékek átlaga a cellák közötti területen volt a legnagyobb.

Ezek az eredmények a boxplot diagrammon (9. ábra és 10. ábra) is megfigyelhetők, a QBS-értékek mediánja itt is a cellák közötti területen volt a legnagyobb. A diagrammon azonban a kontroll területeknél több kiugró érték is megfigyelhető, ami különösen magas QBS-értékeket jelez.

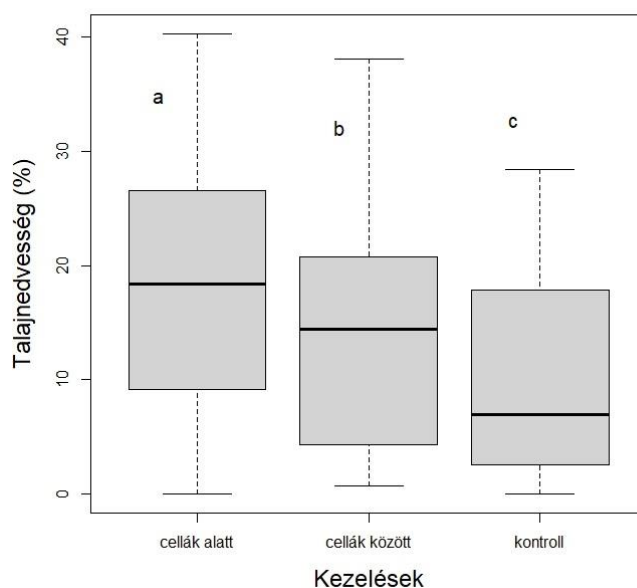
A diagrammon a cellák közötti területen az interkvartilis tartomány szélessége, a nagyobb variabilitásra utal a kezelés tekintetében, aminek oka a talaj biológiai minőségének változatossága ezen a területen. A változatosságnak oka lehet a különböző kezelések a napelemparkok között. A cellák alatt mért alacsonyabb érték gyengébb talajminőségre utal ezeken a területeken, ennek oka a korlátozott fény és csapadék bejutása, ami negatívan hathat a talajbiológiai életre. Az ANOVA teszt alapján kijelenthető, hogy a kezeléseknek szignifikáns hatása van a QBS-értékekre ($F=5,68$, $p=0,004$) vagyis a különböző kezelések során mért QBS-értékek között bizonyítható különbségek vannak. A post hoc teszt a napelem cellák alatti és a napelem cellák közötti élőhelyek között mutatott szignifikáns különbséget ($p<0,05$).



9.és 10. ábra/Kezelések hatása a QBS-értékekre a sekély és a mély rétegben

4.4.Talajnedvesség

Az alábbiakban a talajnedvességi adatokat fogom elemezni. Az ábrán (11. ábra) megfigyelhető, hogy a talajnedvesség a cellák alatti területen a legnagyobb, a kontroll területeken pedig a legkisebb. Az interkvartilis tartomány szélessége alapján is látható hogy a cellák alatti területeken a legváltozatosabb a talajnedvesség. Az oszlopok közötti különbségek statisztikailag igazolhatóak voltak (F-érték=189,39, $p < 0,001$, Tukey post hoc teszt $p < 0,05$ minden kezelés között).



11. ábra/ Kezelések hatása a talajnedvességre. A különböző betűk szignifikáns különbséget jelentenek

Az eredmények alapján arra tudunk következtetni, hogy a cellák alatti területen magasabb a talajnedvesség. Ennek egyik oka lehet, hogy a napelemcellák alatt a közvetlen napsugárzás kisebb mértékben párologtatja el a vizet, így több nedvességet képes a talaj megtartani. Ezen az élőhelyen szembetűnő volt a növényzet hiánya, ami tovább csökkenti a párologtatás mértékét. A cellák közötti és a kontroll területeken kapott értékek arra utalnak, hogy itt nagyobb a párolgás, vagy a talajnak kisebb a vízmegtartó képessége. A cellák közötti területeken a legtöbb park esetében kaszáltak, ami csökkenti a növényzet általi párologtatást. A kontroll területek között voltak kaszált területek, de voltak teljesen kezeletlenek is. Itt a nagy borítású növényzet nagy mennyiségű vizet vett ki a talajból.

4.5. Diskusszió és következtetések

A sekély talajréteg nagyobb egyedszámot mutat, ami, valószínűleg annak köszönhető, hogy a sekély réteg kedvezőbb feltételeket biztosít a mezofauna számára. A mély talajrétegben alacsonyabb az egyedszám, ami kevésbé kedvező feltételekre utal, csökkent oxigénszintre és kisebb biológiai aktivitásra. Steinauer et al. (2015) kimutatta, hogy a nagyobb növényi diverzitás szorosan összefügg a magasabb mikrobiális aktivitással és a biomasszával. A növényi funkcionális sokféleség a mezofauna mérettartományba tartozó lebontók sokféleségét is befolyásolja (Moradi et al., 2017). Az eredmények hangsúlyozzák a talajmélység fontosságát a mezofauna populációdinamikájának szempontjából, és rávilágítanak, hogy a sekély talajréteg kedvezőbb feltételeket biztosít a mezofauna számára, amely fontos szerepet játszik a talaj egészségében és a tápanyagciklusban. A talaj felső rétegében megfigyelhető a legmagasabb biológiai aktivitás, ami közvetlenül összefügg a növényzet jelenlétével és a tápanyagok elérhetőségével. (Briones, 2014). A mély talajrétegekben kevesebb tápanyag áll rendelkezésre, ami a fauna egyedszámának csökkenéséhez vezethet (Briones, 2014). A sekély talajrétegben az átlagos QBS-érték magasabb, mint a mély a rétegben, ami a talaj kedvezőbb biológiai minőségére utal ebben a rétegben. Ez a különbség valószínűleg jobb tápanyag- és oxigénellátottságnak köszönhető. Bár statisztikailag nincs különbség a QBS-értékek között a sekély és a mély talajrétegben, az átlag- és mediánértékeken az látszik, hogy a sekély rétegben az egyedek jobban alkalmazkodtak a talajélethez. Az, hogy a QBS-érték a sekély talajban magasabb, összefügg az itt talált magasabb egyedszámokkal is. Azonban a kedvezőbb feltételek a sekély talajban is növelhetik a QBS-értéket. A sekély talaj ugyanis gazdagabb az elhat növényi

részekben, jobb oxigén- és tápanyag-ellátottságot biztosít az itt élő egyedek számára, ami hozzájárul a QBS-érték növekedéséhez.

A kezelések hatása nem szignifikáns, azonban a cellák közötti területen mindkét mélységben magasabb mediánérték figyelhető meg, mint a panelek alatti vagy a kontroll területeken. Ebből arra következtethetünk, hogy a panelek közötti területek kedvezőbb feltételek biztosítanak a mezofauna számára. Menta et al. (2023) kimutatták, hogy a panelek közötti egyedszámok hasonlóak voltak a kontrollterületek egyedszámaihoz. A cellák alatt találtuk a legkisebb egyedszámokat, a gyomirtószeres kezelések, illetve a növényzet hiánya itt a mikroarthropodák létszámának csökkenéséhez vezetett. Lafitte et al. (2023) kimutatta, hogy a napelemek alatt a növényzet borítása kisebb volt, ami befolyásolja a mezofauna abundanciáját. A napelemek alatt a fény- és hőmérséklet viszonyok módosulnak, ami befolyásolja a növényi és ízeltlábú közösségeket. (Uldrijan et al., 2022). A kontroll területeken megfigyelt szélesebb boxplot és a kiugró értékek a környezeti tényezők sokféleségére utalnak. Mivel a kontroll területek nem voltak közvetlen beavatkozásnak kitéve, így előfordulhat, hogy nagyobb variabilitást mutatnak az egyedszám tekintetében.

Az élőhelyek hatása szignifikáns különbségeket eredményezett a QBS-értékekben, ami arra utal, hogy a talaj biológiai minősége és a talajlakó élőlények közösségei erősen függenek ezen élőhelyek biotikus és abiotikus körülményeitől. A cellák közti terület biztosítja a legkedvezőbb feltételeket, míg a cellák alatti a legkedvezőtlenebbet, ezek a körülmények befolyásolják a QBS-értéket. A kontroll területek esetében köztes értékek figyelhetőek meg, aminek oka valószínűleg a kontroll területekben megfigyelhető nagymértékű változatosság a természetes gyepektől, a felhagyott szántókig.

Eredményeinket a talajnedvesség függvényében vizsgálva, elmondható, hogy a mikroarthropoda populációk egyedszámát és QBS értékeit nem elsősorban a talajnedvesség határozta meg, hanem valószínűsíthetően inkább a telepítés fenntartás során alkalmazott gyomirtószeres használata és a talaj fizikai bolygatása.

Eredményeink azt mutatják, hogy a napelemparkok cellák közötti területe alkalmas lehet a talaj biodiverzitás megőrzésére, megfelelő fenntartó kezelések mellett. Itt előnyben kell részesíteni a természetvédelmi szempontból ajánlott kezelési formákat, a kaszálást és a legeltetést. A napelemparkok potenciálisan hozzájárulhatnak a helyi ökoszisztéma funkcióinak javításához, ha megfelelően kezelik őket.

5. Összefoglalás

A kutatás célja a napelemparkok mezofaunára gyakorolt hatásainak vizsgálata. Az elmúlt évtizedekben a megújuló energiaforrások, mint a napenergia, kiemelkedő szerepet kaptak a globális klímaváltozás elleni küzdelemben. A napelemparkok telepítése és üzemeltetése azonban számos környezeti hatást vonhat maga után, amelyek megértése kulcsfontosságú a fenntartható energiafejlesztés szempontjából.

A kutatás során a napelemparkok alatti, közötti és kontroll területekről összesen 192 talajmintát gyűjtöttünk. A vizsgálat célja a különböző élőhelyek és talajmélységek hatásainak részletes elemzése volt. Az eredmények azt mutatták, hogy a sekély talajréteg (0-5 cm) jelentősen magasabb mezofauna egyedszámot és QBS-értéket mutatott, mint a mélyebb réteg (5-10 cm). Ez a megállapítás alátámasztja, hogy a talaj felső rétege kedvezőbb körülményeket biztosít a mezofauna számára, például nagyobb tápanyag-ellátottság és jobb oxigénellátás révén. A különböző kezelések, mint például a panelek alatti és közötti élőhelyek, szintén eltérő biológiai aktivitást mutattak. A kontroll területek a legnagyobb változatosságot és egyedszámot képviselték, míg a panelek alatti területek a legkedvezőtlenebb feltételeket biztosították a mezofauna számára. Az eredmények azt mutatják, hogy a napelemparkok fenntartási kezelése, például a gyomirtás, közvetlen hatással vannak a talaj biológiai aktivitására, ami kihangsúlyozza a fenntartó kezelések helyes megválasztásának szükségességét a biodiverzitás megőrzése szempontjából.

A dolgozat rávilágít, hogy a különböző talajrétegek és a napelemcellák által kialakított élőhelyek eltérő adottságokkal rendelkeznek, amelyek alapvetően meghatározzák a talajfauna ezen csoportjának mennyiségét és minőségét. A mezofauna, mint a talaj biológiai aktivitásának kulcsszereplője, jelentős hatással van a talaj tápanyagkörforgására, a talaj szerkezetére és a növények növekedésére. A kutatás eredményei figyelmeztetnek arra, hogy a napelemparkok telepítésekor és fenntartásakor figyelembe kell venni a talaj élővilágának védelmét, hogy a napelemparkok valóban hozzájárulhassanak a helyi ökoszisztémák fenntartásához és a biodiverzitás megőrzéséhez.

Ezek az eredmények nemcsak a tudományos közösség számára jelenthetnek értékes információkat, hanem a döntéshozók számára is hasznos útmutatást nyújtanak a jövőbeli napelempark fejlesztések környezeti hatásainak minimalizálásához. A kutatás hangsúlyozza a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok fontosságát és a környezeti szempontok integrálását a megújuló energiaforrások fejlesztésébe.

6. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a TDK dolgozatom elkészítése során kapott támogatást és segítséget témavezetőmnek Dr. Seres Anikónak, aki irányításával és szakmai tanácsaival segített a kutatás lebonyolításában.

Köszönöm Dr. Gallé Róbert tudományos főmunkatársnak (HUN-REN, Ökológiai Kutató Központ), hogy lehetőséget adott a napelemparkokkal kapcsolatos vizsgálatban való részvételre.

7. Irodalomjegyzék

- Armstrong, Alona & Ostle, Nicholas & Whitaker, Jeanette. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*. 11. 074016. <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016>
- Babin, D. Deubel, A. Jacquiod, S. Sørensen, S.J., Geistlinger, J., Grosch, R., Smalla, K. (2019) Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities, *Soil Biology and Biochemistry*, 129: 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>.
- Barron-Gafford, G., Minor, R., Allen, N., Cronin, A.D Brooks, A.E., Pavao-Zuckerman, M.A. (2016) The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific Reports* 6, 35070. <https://doi.org/10.1038/srep35070>
- Bereczki, K., Tóth, E.G., Szili-Kovács, T., Megyes, M., Korponai, K., Lados, B. B., Illés, G., Benke, A., Márialigeti, K. (2024) Soil Parameters and Forest Structure Commonly Form the Microbiome Composition and Activity of Topsoil Layers in Planted Forests. *Microorganisms*, 12(6), <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061162>
- Briones M.J.I. (2014) Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2:7, doi: 10.3389/fenvs.2014.00007
- Doví, V.G., Battaglini, A. (2015). Energy Policy and Climate Change: A Multidisciplinary Approach to a Global Problem. *Energies*, 8, 13473-13480. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15916954>
- George, P.B.L., Keith, A.M., Creer, S., Barrett, G.L., Lebron, I., Emmett, B.A., Robinson, D.A. Jones, D.L. (2017) Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*, 115: 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>.
- Haverkamp, R., Debionne, S., Angulo-Jaramillo, R., Condappa, D.D. (2016) Soil Properties and Moisture Movement in the Unsaturated Zone. *Environmental Science. Geology, Engineering*, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130198081>
- Hernandez, L.M., Xu, E.G., Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., Tufenkji, N. (2019) Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into

- Tea. *Environmental science & technology*, 53 (21): 12300-12310
<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, A., Kriska, G., Seres, I., Robertson, B. (2010), Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology*, 24, 2010, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>
- Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D. Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., Schatz, B., Kerbiriou, C., Gourdain, P., Reyjol, Y. (2023) Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: a systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental evidence*, 12(1): 25:, <https://doi.org/10.1186/s13750-023-00318-x>
- Lambert, Q., Gros, R., Bischof, A. (2022) Ecological restoration of solar park plant communities and the effect of solar panels. *Ecological Engineering*, 182(9):106722. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106722>.
- Lambert, Q., Bischoff, A., Enea, M., Gros, R. (2023) Photovoltaic power stations: an opportunity to promote European semi-natural grasslands? *Frontiers in Environmental Science*. 11, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1137845>
- Menta, C., Conti, F.D. Pinto, S. Bodini, A: (2018) Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>.
- Menta, C., Remelli, S., Andreoni, M., Gatti, F., Sergi, V. (2023) Can Grasslands in Photovoltaic Parks Play a Role in Conserving Soil Arthropod Biodiversity? *Life (Basel, Switzerland)*, 13(7), <https://doi.org/10.3390/life13071536>
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C. Mozzanica, E. (2005) Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy, *Agriculture. Ecosystems & Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>
- R Core Team, 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

- Seres A. (2023): Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. Az új irány Olaszországban: mikroízeltlábú közösségeken alapuló módszer a talajminőség és a biológiai sokféleség értékelésére. Képesítőfordítás
- Syphard, A.D., Clarke, K.C., Franklin, J. Regan, H.M., McGinnis, M. (2011) Forecasts of habitat loss and fragmentation due to urban growth are sensitive to source of input data, *Journal of Environmental Management*, 92, 1882-1893, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.014>
- Uldrijan, D., Černý, M., Winkler, J. (2022) Solar Park – Opportunity or Threat for Vegetation and Ecosystem. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), <https://doi.org/10.12911/22998993/153456>
- Uldrijan, D., Kováčiková, M. Jakimiuk, A., Vaverková, M.D. Winkler, J. (2021) Ecological effects of preferential vegetation composition developed on sites with photovoltaic power plants. *Ecological Engineering*, 168:106274 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106274>
- Ustaoglu, E., Perpiña Castillo, C., Jacobs-Crisioni, C. Lavallo, C. (2016) Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes. *Land Use Policy*, 56: 125-146. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.020>
- Winkler, D., Traser Gy. (2017), Talajlakó mezofauna (Collembola) vizsgálatok a Lajta Project területén. *Magyar Ápróvad Közlemények*, 13, <https://doi.org/10.17243/mavk.2017.213>
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M.D., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234472926>
- Wu, P., Wang, C. (2019) Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems. The significance for soil fauna diversity monitoring. *Geoderma*, 337: 266-272. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma>

Internetes források:

(http1) Az IEA honlapja/Renewables 2021. Letöltés dátuma:2024.10.14. Forrás: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>

(http2) The International Renewable Energy Agency honlapja/ Renewable Capacity Statistics 2022. Letöltés dátuma: 2024.10.14. Forrás: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>

(http3) Az Argonne national laboratory honlapja/ Research. Letöltés dátuma: 2024.10.15. Forrás: <https://www.anl.gov/esia>

(http4) Az Oeconomus Gazdaságkutató Alapítvány honlapja/írások. Letöltés dátuma: 2024.10.15. Forrás: <https://www.oeconomus.hu/irasok/europa-utja-a-fenntarthato-energiafuggetlenseg-fele/>

(http5) A Magyar Napelem Napkollektoros Szövetség honlapja.Letöltés dátuma: 2024.10.15. Forrás: <https://www.mnnsz.hu>

(http6) Magyar elektronikus könyvtár honlapja/ Az Alföld. Letöltés dátuma: 2024.10.07. Forrás: <https://vmek.oszk.hu/00100/00149/html/zk41.htm>

(http7) Nature's Generator honlapja/What is the Difference Between Polycrystalline and Monocrystalline Solar Panels. Letöltés dátuma: 2024.10.09. Forrás: <https://ca.naturesgenerator.com/blogs/news/what-is-the-difference-between-polycrystalline-and-monocrystalline-solar-panels>

(http8) A Solar Magazine honlapja/ [Comparison] Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels. Letöltés dátuma: 2024.10.09. Forrás: <https://solarmagazine.com/solar-panels/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>

(http9) Az NREL honlapja/Solar Photovoltaic Technology Basics. Letöltés dátuma: 2024.10.09. Forrás: <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

(http10) Az ST Solar honlapja/Monokristály vagy polikristály napelem? – Melyik a jobb választás? Letöltés:2024.10.09. Forrás: <https://stnapelem.hu/monokristaly-vagy-polikristaly-napelem-melyik-a-jobb-valasztas/>

(http11) A Talajtár honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.19. Forrás: <https://talajtar.hu/>

8. Melléklet

1. táblázat: A pontos mintavételi időpontok, az egyes parkok kezelési módjai, és az időjárási körülmények a mezofauna mintavételek időpontjaiban. u: napelem cellák alatt, b: napelem cellák között, c: kontroll

Parkok azonosítója	Élőhely	Mezofauna mintavétel		
		Időpont	Parkok kezelése	Időjárás
cs30	u	2023.07.10.	nem volt gyomirtózva	napos
	b		nem volt gyomirtózva	napos
	c		nem volt gyomirtózva	napos
cs33	u	2023.07.10.	gyomirtózva	napos
	b		kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
cs05	u	2023.07.10.	gyomirtózva	napos
	b		kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
cs69	u	2023.07.10.	nem kaszált	napos
	b		nem kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
be33	u	2023.07.11.	legeltetve	napos
	b		legeltetve	napos
	c		nem kaszált	napos
bk41	u	2023.07.11.	gyomirtózva	napos
	b		nem kaszált	napos
	c		legeltették éppen	napos
bk13	u	2023.07.11.	legeltették éppen	napos
	b		legeltették éppen	napos
	c		legeltették éppen	napos
bk32	u	2023.07.11.	gyomirtó	napos
	b		kaszált	napos
	c		kaszált	napos
bk44	u	2023.07.11.	kaszált	napos
	b		kaszált	napos
	c		kaszált	napos
bk71	u	2023. 07.05.	nem kaszált	napos
	b		nem kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
bk86	u	2023. 07.05.	kaszált	napos
	b		kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
bk83	u	2023. 07.05.	gyomirtózva	napos
	b		kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos
bk78	u	2023. 07.05.	kaszált	napos
	b		kaszált	napos
	c		kaszált	napos

be06	u	2023. 07.06.	gyomirtózva	felhős
	b		nem kaszált	felhős
	c		kaszált	felhős
be62	u	2023. 07.06.	legeltetett	felhős
	b		legeltetett	felhős
	c		kaszált	felhős
cs53	u	2023. 07.06.	kaszált	napos
	b		kaszált	napos
	c		nem kaszált	napos

NYILATKOZAT

mesterséges intelligencián alapuló szövegíró eszközök használatáról

Nyilatkozni az OTDT online rendszerben szükséges, jelen dokumentumot nem kell külön feltölteni oda!

A pályamunka szerzőjének neve:	Adamcsek Flóra
A pályamunka címe:	Napelemparkok lehetséges hatásai a talaj mezofaunájára

Nyilatkozom, hogy a 37. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekciójába benyújtott pályamunkám megírása során mesterséges intelligencián alapuló szövegíró eszközöket

használtam / nem használtam.

Nyilatkozom, hogy a dolgozat szakmai, tudományos tartalmát, az abban szereplő minden közlést, állítást, megállapítást, véleményt, következtetést sajátomnak ismerek el, ezek a dolgozat szerzőjeként szakmai álláspontomat pontosan tükrözik, a szöveg egészéért és annak minden eleméért felelősséget vállalok.