

DEBRECENI EGYETEM
GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYI
KAR

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

AGROFOTOVOLTAIKUS RENDSZEREK TELEPÍTÉSÉNEK
LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON

THE POSSIBILITIES OF INSTALLING AGRIVOLTAIC
SYSTEM IN HUNGARY

DEBRECEN

2024.10.30.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	1
1. TÉMAFELVETÉS.....	2
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
2.1 APV potenciális jelentősége a megelőző kutatásokban	3
2.2 Korábbi technológiai és gazdasági vizsgálatok	4
2.3 Előzmények a tudományos publikációkban	6
2.4 Korábbi kérdőíves felmérések a napelemek vonatkozásában	10
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	14
3.1 Tudományos kutatási trendek módszertana.....	14
3.2 Potenciálszámítás módszertana	17
3.3 Mélyinterjú célkitűzése és módszertana	17
3.4 Közvéleménykutatás módszertana	18
4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE.....	19
4.1 APV potenciális jelentőségére vonatkozó saját becslés	19
4.2 Jelenlegi és várható tudományos trendek	22
4.3 Szakértői mélyinterjú nagyüzemi PV-telep üzemeltetőjével.....	28
4.3.1 Telepítés, költségvetés és finanszírozás.....	28
4.3.2 Üzemeltetési és fenntartási tényezők.....	28
4.3.3 Energiatermelés és CO ₂ -megtakarítás	28
4.3.4 Árnyékolás és élettartam összefüggései	29
4.3.5 Költséghatékonysági szempontok.....	29
4.3.6 Társadalmi és környezeti körülmények	29
4.4 Saját közvéleménykutatás az APV-rendszerekről.....	30
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	35
ÖSSZEFOGLALÁS.....	38
IRODALOMJEGYZÉK.....	40
MELLÉKLETEK.....	43
A közvéleménykutatás során feltett kérdések listája.....	43
A mélyinterjú során feltett kérdések	43
Üzemlátogatáson készült fényképek	44

BEVEZETÉS

A kiszámíthatatlan gazdasági és éghajlatváltozással súlytott globális helyzet több szempontból is nyomást gyakorol a társadalomra, hogy olyan megoldásokkal álljon elő, ami mindezekre képes választ adni. Ennek egyik kényes pontja az energiatermelés, főleg miután a orosz-ukrán háború kirobbanása rávilágított, hogy sok ország komolyan függ a földgáz és kőolaj kitermelő országoktól. Magyarország energiafüggősége 2022-ben 63,8% volt az erre vonatkozó 2023-as előzetes adat pedig 61,7% (ksh.hu, 2024). Mind a szuverenitásunk megőrzése, mind a stabil gazdaság biztosítása érdekében arra érdemes törekedni, hogy az országhatáron belüli energiaelőállítás mértékét növeljük. Ha csak ennyi lenne a cél, a klasszikus fotovoltaikus rendszerek is megoldást jelentenének, hiszen a nagy kiterjedésű napelemparkok biztosíthatnák a szükséges energiát, de így egy más típusú ellentmondással kerülünk szembe: mire kell használnunk a termőterületeinket? Energiatermelésre vagy élelmiszerelőállításra?

Erre jelent alternatív megoldást az agrofotovoltaika, ami a termőterület kettős hasznosításával oldja fel ezt az ellentétet. Az agrofotovoltaikához kapcsolódó koncepció már majdnem 50 évvel ezelőtt, az 1980-as években felmerült, de komolyabban a 2011-ben elsőként megjelent esettanulmány kapcsán kezdtek el foglalkozni vele. A szakkifejezés magában foglalja a 2 fő komponensét: „agro”, mint agrárgazdálkodás és földterületek élelmiszertermelésre való használata és „fotovoltaika”, mint napelemrendszerekkel előállított elektromos energia. Bár az ötlet elméletben megvalósíthatónak bizonyosul, sok kérdés vetődik fel a gyakorlatban. Mennyire szabad árnyékolni a növényeket? Nincs-e negatív hatással a növények termesztésére a kémiai anyagokat is tartalmazó napelem? Milyen időtávon térül meg a befektetés? Hajlandóak-e a gazdák ilyen típusú rendszerbe fektetni? A társadalom által elfogadható-e egy ilyen rendszerben termesztett növény és energia? Mindezekből a kérdésekből jónéhányat megválasztak már, és jónéhány még kutatott terület, de jelen kutatásomban csak néhány területre fókuszálok mélyebben.

1. TÉMAFELVETÉS

Kutatásom célja először is megatározni, hogy milyen az APV rendszerek potenciálja globális és hazai skálán. Hipotézisem szerint akár a teljes energiaszükségletünk biztosítható lenne ezen technológia által, még ha csak elméleti szinten is. Ehhez a napelemek teljesítményének figyelembe vétele és az agrofotovoltaikára használható területek meghatározása is lényeges, így a szakirodalmak ilyen irányú kutatása kulcsfontosságú.

Feltéve, hogy a hipotézis igaz, fontos lépés az eddigi kutatómunka széleskörű vizsgálata a fejlődési irányok meghatározásához. Ezt egy bibliometrikus elemzés segítségével teszem, ami kulcsszavak elemzésével segít meghatározni a publikációk átfedéseit és kapcsolatait. A felvetésem, hogy az utóbbi években egyre több tanulmány jelenik meg az agrofotovoltaika témaköréhez kapcsolódóan, és az utóbbi évek technológiai vizsgálataival mellett megjelennek a gazdasági és jogszabályi elemzések is.

Folytatva a gondolatfonalat, feltéve, hogy egy mélyen kutatót és sokak figyelmét felkeltő technológiáról van szó, amit valódi termelési potenciál jellemez, érdemes foglalkozni azzal a kérdéssel is, hogy a jelenleg klasszikus fotovoltaikus rendszerek, amelyek mögött már néhány év működés áll, milyen kihívásokkal szembesülnek, amit érdemes figyelembe venni és tanulni belőlük, hogyha agrofotovoltaikus rendszereket szeretnénk telepíteni. Az ennek kapcsán készített mélyinterjúhoz a hipotézisem az volt, hogy a nagyterjedésű napelemparkokat üzemeltető szervek kevésbé innovatívak és újítóak, és nehezebb implementálni az efféle technológiákat.

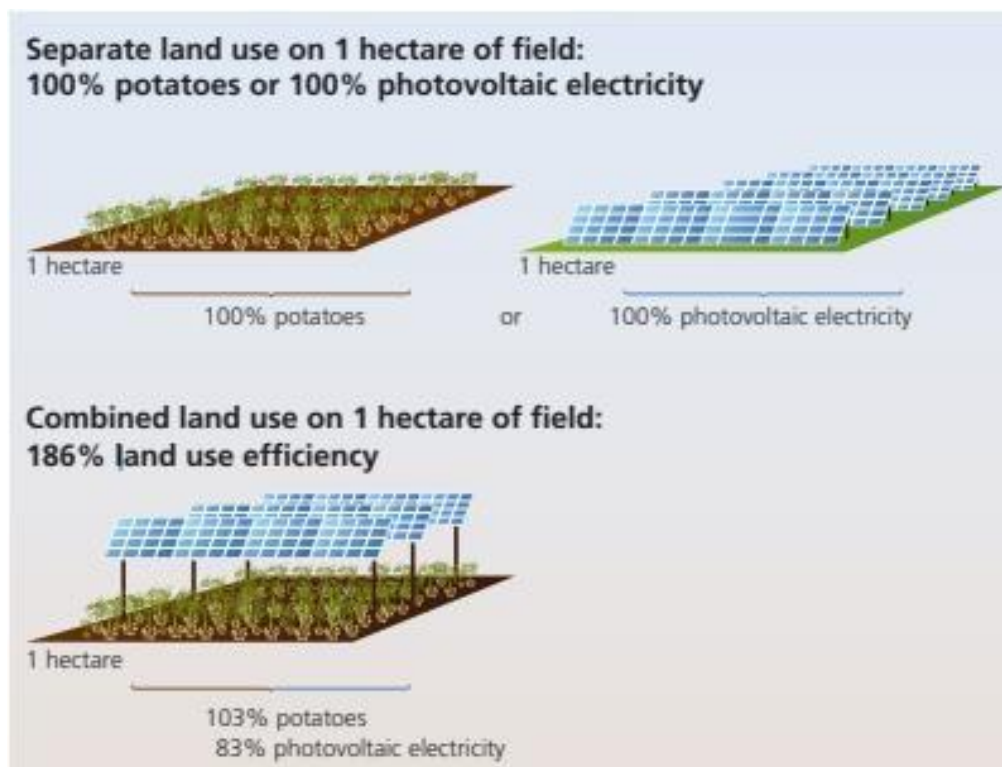
Ha pedig megismertük egy szakember tapasztalatait, akkor egy következő fontos szempont a közvetetten érintett társadalom, így egy közvélemény-kutatás segítségével igyekszem jellemezni a gyakorlati hozzáállást az agrofotovoltaikus rendszerekhez.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Nem kétséges, hogy a Nap a Földünk elsődleges energiaforrása. Elég, ha a fotoszintézisre gondolunk, és rájövünk, hogy mennyire primer módon szükségünk van a fotonok erejére (Heldt et al, 2021). Az emberek csúcsragadozó pozícióját éppen az innovációk felismerése adta és adja mai napig (Wilkins et al. 2024), így nem meglepő, hogy az elektromos áram használata után nem sokkal arra is rájöttünk, hogyan tudjuk a Napot elektromos energiatermelésre használni (Irshad et al. 2023). A technológia azóta sokat fejlődött és globális fogyasztói szinten elérhetővé vált, így a fotovoltáikával ma már háztetőkön és kiterjedt napelemparkokban is találkozhatunk.

2.1 APV potenciális jelentősége a megelőző kutatásokban

A napenergia óriási potenciállal rendelkezik a többi megújuló energiaforrással összehasonlítva. A Föld felszínét elérő napsugárzás jelentős eltéréseket mutat, a magas szélességi körökön $0,06 \text{ kW/m}^2$ -től az alacsony szélességi körökön $0,25 \text{ kW/m}^2$ -ig terjed. Elméleti számítások szerint a napenergiából termelt teljesítmény megközelítőleg $21,840 \text{ TW}$. 2030-ra a napenergiából előállított villamos energia mennyisége várhatóan eléri a 402 TWh-t , a napenergia pedig 280 TWh-val járul hozzá a teljes villamosenergia-termeléshez. Ez azt jelenti, hogy a napenergia jelentős potenciállal rendelkezik, mint az energiaigények kielégítésének fenntartható megoldása. (Hermann, 2006). Az elmélet a kettős hasznosításból való területi kihasználtság növelésére törekszik, ezt mutatja be az 1. ábra. A külön-külön való termeléshez/termesztéshez képest egy hektárnyi terület 183% -os hatékonyságot ért el 2018-ban.



1. ábra Egy hektár termőföld külön és együttes használatának hatékonysága (2021)

Forrás: Fraunhofer Institute (2021)

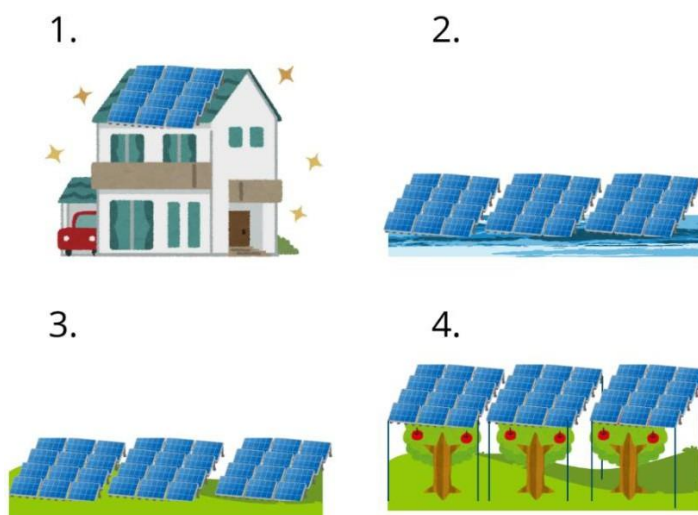
2.2 Korábbi technológiai és gazdasági vizsgálatok

Röviden áttekintve a különböző telepítési megoldásokat és kísérleti lehetőségeket, hamar láthatjuk, hogy néhány alapkövetelményt szem előtt tartva – napfényes, nem árnyékolt terület, a felhasználhatóság miatt urbanizált részhez közeli elhelyezés – szinte bárhol telepíthetünk ilyen rendszereket.

A Nap energiájának mesterséges hasznosítása már most is sokféleképpen történik:

Az 2.ábrán 1. sorszámmal jelzett lakossági megoldás nagy népszerűségnek örvend világszerte, olyannyira, hogy már városi méretű telepítési tervek kapcsán is készült kutatás a közelmúltban Kínában, eredményként bemutatva, hogy egy ilyen komplex beruházás a kutatótt város elektromos energia igényének 20,06%-át tudná fedezni (Wei et al., 2024).

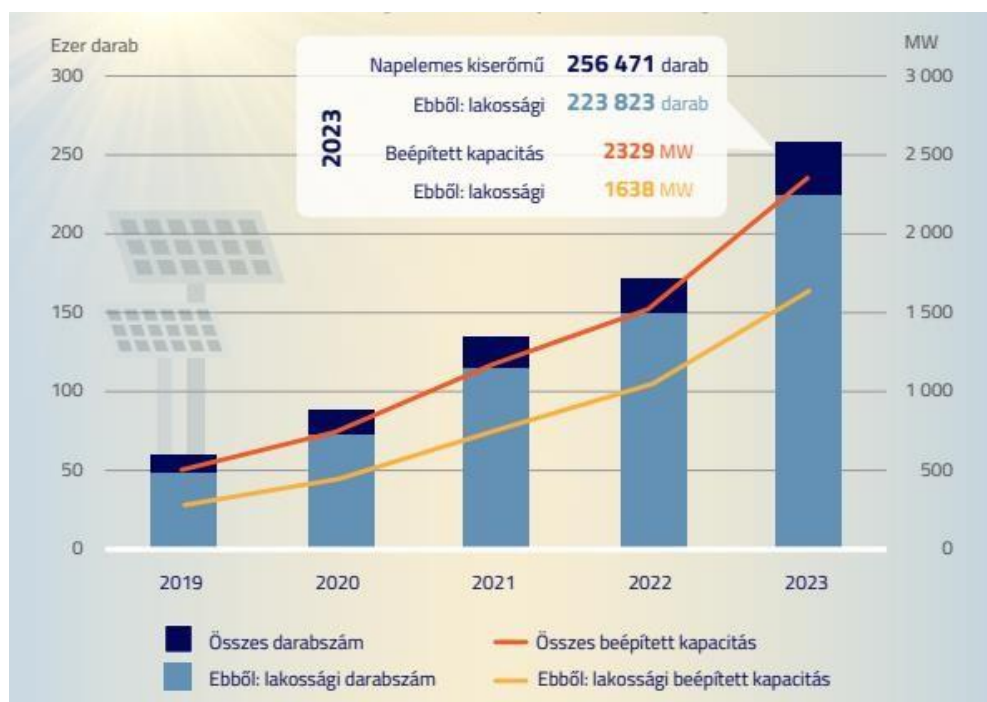
Az utóbbi években Magyarországon is jelentősen nőtt ennek a részaránya (3.ábra), köszönhetően az ez irányú állami támogatásoknak.



2. ábra **Napelemrendszerek különböző telepítési lehetőségei**

Forrás: saját szerkesztés

A 2023-ig telepített 2329 MW kapacitás még nem képes az elektromos energiaigényünk fedezésére, de 2024 első felében mért adatok alapján a napenergia aránya a hazai villamosenergiatermelésből a legnaposabb hónapban már majdnem 35%-ot is elért. (KSH, 2024)



3. ábra **Háztartási méretű napelemes kiserőművek darabszáma és beépítette teljesítménye (2024)**

Forrás: Központi Statisztikai Hivatal (2024)

2.3 Előzmények a tudományos publikációkban

Bár elsőre különösnek tűnhet, de az 2.ábrán 2-es sorszámmal jelzett, vízre telepített naperőművek (floating photovoltaics) is egyre szélesebb körben elterjedtek. Egy mexikói kutatás az alkalmazott feltételek mellett az optimista forgatókönyv eredményei szerint 33,12 TWh éves energiatermelés érhető el, 14,51 MtCO₂e üvegházhatású gázkibocsátás és 336,78 hm³ víz elpárolgásának elkerülése mellett (Gonzalez-Gonzalez et al. 2024). Az 2.ábrán 3-as sorszámmal jelzett „ground-mounted”, tehát földre telepített naperőművek a nagyobb mértékű igények kiszolgálást hivatottak végezni, így befektetésként is értelmezhetőek. A 4-es sorszámmal jelzett agrofotovoltaikus rendszerrel összevetve egy 2022-es kutatás eredményeként egyértelműen azt kaptuk, a pénzügyi megtérülés tekintetében a földre telepített, egyszerű napelempark jobban megtérül az akkor érvényes élelmiszer és energiaárak mellett. (Chalgynbayeva et al., 2022) Ettől függetlenül látva a jelenlegi tendenciákat – élelmiszerárak növekedése, és ez egyre növekvő energiaigény– időben el kell kezdnünk a jövő kihívására való válaszokat kutatni (ksh.hu, 2024) Erre egy alternatíva az agrofotovoltaika.

Az agrofotovoltaika még egy kevésbé kutatott téma, de az évről évre növekvő publikációk száma azt bizonyítja, hogy a technológia mind mérnöki, mind gazdasági szempontból figyelemfelkeltő. Lehoczki et al. (2022) azon kevesek közé tartoznak, akik magyarul publikáltak a témában. Körültekintően összefoglalták a technológia működését, és több lényeges előnyre is felhívták a figyelmet. Szerintük, akár 20%-kal kevesebb öntözésre lehet szükség az agri-PV rendszerekben, mivel a napelemek okozta fedettség nem enged annyi vizet elpárologni. Mindemellett a napelemek lehetőséget biztosítanak irányított vízszabályzásra, esővíz összegyűjtésre. Hátrányként megemlíti, hogy a munkagépekkel végzett porszennyeződés miatt gyakrabban van szükség a rendszer tisztítására, ami mind pénzügyi, mind logisztikai teherrel jár.

Németország és a Fraunhofer Intézet az egyik legjelentősebb szereplője az európai kutatásoknak, hiszen saját kísérleti telepükkel nem csak elméleti, de gyakorlati tapasztalatokat is biztosítanak a technológiáról.



4. ábra **Fraunhofer Intézet kísérleti agrofotovoltaikus ültetvényei (2021)**

Forrás: Fraunhofer Institute (2021)

Az 5. ábrán szereplő képek a Fraunhofer Intézet kísérleti agrofotovoltaikus rendszereit mutatja. A bal oldali képen almafák fölé van telepítve a napelemes rendszer, ami a jégkártól és égéstől is óvja a növényt, miközben elegendő napfényt ereszt át a megfelelő fejlődéshez. A jobb oldali kép egy fontos tervezési szempontra hívja fel a figyelmet: a telepített növényfajtától függően, de fontos, hogy figyelembe vegyük a termesztés és aratás során igénybe vett gépek méretét, és a napelemeket tartó szerkezetet ehhez igazítsuk.

Moreda et al. 2021-es kutatásukban egy APV-rendszer jövedelmezőségét elemezték, amelyet Délnyugat-Spanyolország öntözött szántóföldjein volt telepítve. A belső megtérülési ráta (IRR) 3,8-5,6%-os sávban esett vissza, de ez pénzügyi megtérülést vesz alapul, a növények és elektromos áram hozamaiban jelentős visszaesés nem történt.

A kutatás adatai alapján a termőterület 32%-ának megfelelő mennyiségű napelem lett telepítve. Ezen adatot alátámasztják a 2024 februárjában egy Debrecen határában telepített PV-rendszer látogatásánál tapasztaltak is. A napelemrendszer üzemeltetéséért felelős energetikai szakember kiemelte, hogy a teljes terület meghatározásánál a következő fontos gyakorlati szempontokat kell figyelembe venni:

- generátor mérete és hozzáférhetőségének biztosítása
- a kiterjedt területek miatt szervízutak biztosítása, amelyek járművekkel való közlekedést is enged
- a kerítéstől megfelelő távolságra elhelyezni a napelemeket a rongálások elkerülése érdekében

- a napelemeket is megfelelő távolságra kell elhelyezni egymástól az önárnyékolás elkerülése érdekében

Természetesen az APV-rendszereknél fontos, hogy a növények megfelelő mennyiségű napfényt kapjanak. Itt nagyon jelentős a fajspecifikus árnyéktűrő képesség meghatározás, de az agrofotovoltaika szélesebb körű megismerésével ez is egyre inkább kutatott terület. Hermelink et al. (2024) a bogyósgyümölcsök kapcsán végzett meta-analízise a következőket találta:

- A bogyósgyümölcs-kultúrák alkalmassága az agrofotovoltaikára növénytípusonként és termőhelyenként eltérő.
- Az áfonya terméshozama nagy sugárzási intenzitás mellett akár 50 %-os árnyékolással is kompatibilis.
- A fekete ribizli, a szeder és az áfonya alacsony sugárzási intenzitás mellett akár 35 % árnyékot is elvisel.
- A szamóca terméshozama viszont az árnyék növekedésével csökken.

Hassanien et al. (2022) kutatásukban a tetőfelület 13-26%-ában elhelyezett, átlátszatlan kristályos szilíciumból készült fotovoltaiikus (PV) panelek üvegházi külső árnyékolásának hatását vizsgálták a *Capsicum annuum* cv. (*omega*) chilipaprika mikroklimájára és növekedésére. A PV-panelet két (egyenként 4 PV-ből álló) tömbre osztották, és külön-külön két 4 m magas külső oszlopra rögzítették délkeleti, illetve északnyugati irányban. Mindkét 4 PV-ből álló tömböt kelet-nyugati irányból észak-déli irányba lehetett követni. Két üvegház volt, az egyiket kontrollként használták árnyékolás nélkül, a másikban pedig külső árnyékolás volt. Az eredmények azt mutatták, hogy a PV külső árnyékolása enyhén csökkentette a levegő hőmérsékletét (1-2 °C) és a fényintenzitást (25-40%), de nem volt hatással a harmatponti hőmérsékletre és a relatív páratartalomra a kontrollhoz (árnyékolatlan üvegház) képest. A chilipaprika terméshozama és növekedése az árnyékolt üvegházban viszont lényegesen magasabb volt, mint az árnyékolatlan üvegházban.

Mindezek alátámasztják, hogy a termőterület 32%-ának megfelelő mennyiségű napelem – ami a Nap beesési szögének változása miatt nem takarja folyamatosan a terület 32%-át – egy reális irányadó szám a világpotenciálok vizsgálatakor. Ugyanezen kutatásban az energiatermelés 555.5 kWp/ha kapacitást ért el. Ezt alapul véve, és a World Bank 2020-as kutatásaiban meghatározott átlagos 1529,5 kWh/kWp teljesítményt határoztam meg a világméretű, és 1255,6 kWh/kWp a magyarországi potenciál.

A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) adatai alapján 2024- ben 4,8 milliárd hektárnyi föld van mezőgazdasági területként számon tartva. Itt fontos felhívni a figyelmet arra, hogy az előzőekben említett erőforrásszűkösségi problémákon felül több fontos tényező akadályozza az ilyen méretű és mértékű napelemes energia előállítását:

- időjárás és szezonális
 - Bár az elméleti potenciál részben magában foglalja a napos órák számára való függést, de nem szabad elfelejtenünk, hogy a szezonális nagyon erősen befolyásolja a napelemes rendszerek energiatermelését. A nyári energiamennyiség ugyan elméletben télen is használható, de a gyakorlatban a tárolás nehézkes, így meg is érkezünk a következő korlátozó tényezőhöz.
- erőforrás-szűkösség
 - A napelemek legyártása is már önmagában egy szűkösségi kérdést vet fel. A napelemek több ritkafémet is tartalmaznak, ezeket nagyrészt Kínában bányásszák. Miután 2023-ban több mint 130 milliárd dollárt fektetett be a napenergia-iparba, Kína 2023 és 2026 között a világ polyszilícium-, cella- és modulgyártási kapacitásának több mint 80%-át fogja birtokolni - derül ki a Wood Mackenzie 2023-ban megjelent, "How will China's expansion affect global solar module supply chains?" című jelentéséből. Ez viszont egy másik típusú energiafüggőségi helyzetet alakít ki az amúgy is érzékeny energia liberalizálási kérdésekkel küzdő háborús helyzetben.
- energia tárolása
 - Nem beszélhetünk nagyüzemi energiatermelésről, ha nem említjük az enegiatárolás problémáját. Az akkumulátorok csupán rövidebb időre képesek ezeket jelentős veszteségek nélkül kezelni, ezért lényeges a lakosságnál a háztetőkön megtermelt energia 24 órán belüli elhasználása. A jó hír, hogy ebben is fejlődik a technológia és az úgy nevezett P2G, azaz power-to-gas megoldás a hosszútávú áramtárolásra is jelenthet megoldást. A power-to-gas (P2G) technológia a villamos energiát hidrogén vagy szintetikus földgáz előállítására használja (Clegg & Mancarella, 2015), amelyet széles körben bevezetnek az IES-be (Integrated Energy System) a megújuló energiaforrások integrációjának és felhasználásának elősegítése érdekében (Yang et al., 2018).
- hálózat

- Továbbá a jelenlegi magyar hálózati rendszer nem biztos, hogy meg tudna birkózni ilyen mennyiségű elektromos energia szállításával és kezelésével. Az éves kb. 207,8 TWh fogyasztásunknak csupán egy része elektromos energia, és nagy az aránya a szén és földgáz alapú energiáknak. A ksh.hu legfrissebb adata 2022-ben a „Megújuló energiaforrásokból előállított energia felhasználásának részaránya a bruttó végső energiafogyasztásban” csupán 15,2%, és nem szabad elfelejtenünk, hogy infrastruktúránknak csupán egy része működik villamosenergiával. Bár nem lehetetlen, a villamosenergia-alapú gazdaság kiépítése, amiben a közlekedési eszközök, fűtés, és termelőüzemek is erre rendezkednek be, de hatalmas infrastrukturális terhet róna mind a lakosságra, vállalati és állami szereplőkre.

Chalgynbayeva et al. 2022-ben megjelent „Cost–Benefit Analysis of Kaposvár Solar Photovoltaic Park Considering Agrivoltaic Systems” című publikációja segít érzékeltetni, hogy milyen pénzügyi vonzatai vannak az agrofotovoltaikus rendszerek telepítésének. A meghatározott egységnyi beruházási költség 1 ha APV rendszerhez 672 000 EUR (~268,8 millió Ft [átváltási árfolyam: 400,03 Ft/EUR]). A nagyméretű PV és az APV energiatermelési költségeit összehasonlítva világosan látható, hogy a jelenlegi körülmények között az APV rendszer elosztott többlet beruházási költségeinek gazdasági versenyképessége a nagyméretű PV rendszerhez képest csökken, és az APV rendszer többlet beruházási költségei nem térülnek meg az almatermelési bevétel és a kieső villamosenergia-termelés figyelembevétele után. A következő tényezőket azonosították:

1. Az APV-rendszereknek több pénzügyi forrásra van szükségük a beruházásokhoz, mind a fotovoltaikus, mind a mezőgazdasági termelés tekintetében.
2. A mezőgazdaságból származó többletbevétel nem kompenzálja a részleges árnyékolás miatt a villamosenergia-termelésből származó alacsonyabb bevételt, így nem várható, hogy a beruházási többletköltség megtérül.
3. A villamosenergia-termelésből származó többletjövedelem jelentős, de a visszafizetési időszak nem kedvező a befektetők számára.
4. Az APV-rendszerek támogatása nélkül a gazdálkodók várhatóan nem választják azokat.

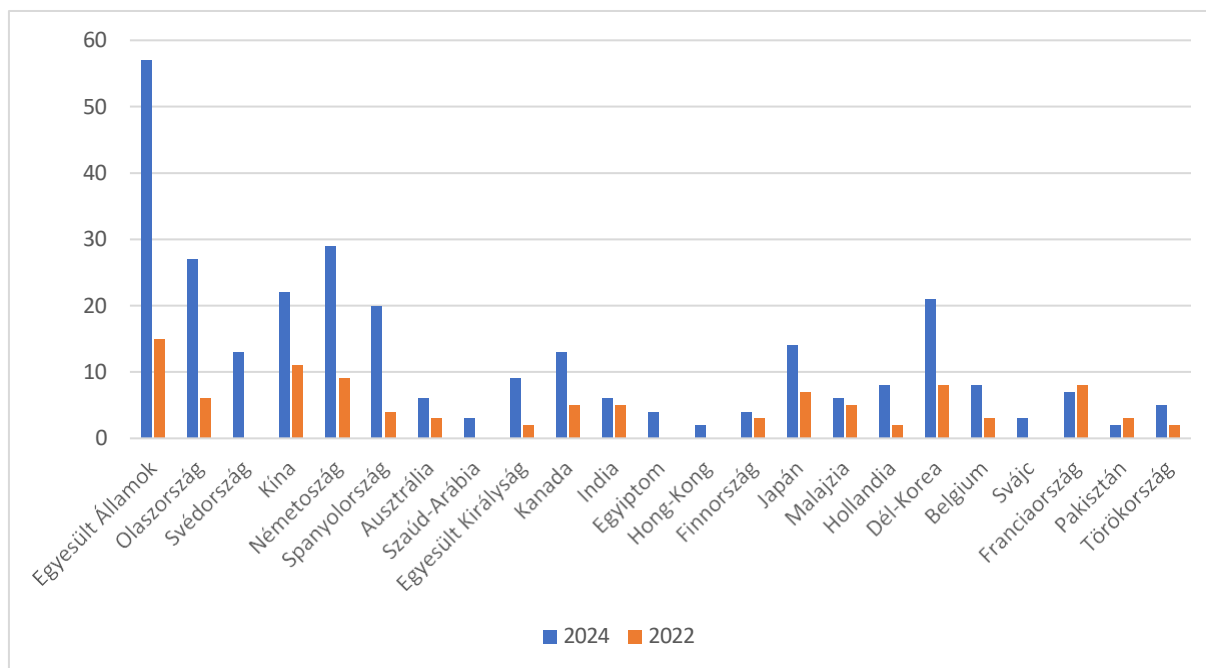
Mindezek tekintetében a klasszikus válasz a megoldás: diverzifikáció. Amíg több típusú energiaforrás segít előállítani a szükséges mennyiségeket, addig a kockázati

tényezők is jobban kezelhetőek.

2.4 Korábbi kérdőíves felmérések a napelemek vonatkozásában

Bár a téma még csak 2011-től van részletesebben kutatva, két konkrét szisztematikus kutatás is készült a publikációk vizsgálata kapcsán. A 2021-ben Mamun et al. által publikált cikk összesen 98 tanulmányt értékelt. Közülük 48 konkrét alkalmazásokkal foglalkozott, míg 50 a PV-termelés nagyságrendjével. Az 50 vizsgálatból 14 kis méretű (<100 kW) PV-rendszereket vizsgált. A fennmaradó 36 közepes és nagyméretű (100 kW feletti) létesítményekkel, 26 pedig a MW-ot meghaladó kapacitású létesítményekkel foglalkozott. Amellett, hogy a kutatások főként az északi féltekéről származnak, jellemzően a műszaki kérdésekre összpontosítanak - akár a konfigurációra, akár a teljesítményhozamot befolyásoló tényezőkre. Akkor hiányzott egy átfogó pénzügyi teljesítménymodell az agrárfotovoltaikus rendszerekhez. Továbbá nagyon kevés vizsgálat irányult olyan nagyméretű (>1,0 MW) létesítményekre, amelyekbe az állatállomány legeltetése is beépítésre került. Utóbbiak fontos hiányosságokat jeleztek, mivel a világ azon régiói, amelyek a legnagyobb potenciállal rendelkeznek a fotovoltaikus energiatermelés terén, tipikusan olyanok, mint a mezőgazdasági területek.

Chalgynbayeva et al. 2023-ban publikált cikkjében már valamivel több kutatási anyagból tudott következtetéseket levonni. A kutatásba bevont 121 forrásból több mint a felét 2021-ben publikálták, ami az agrivoltaikus rendszerekre irányuló figyelem jelentős növekedését jelzi. Nem sok olyan publikációt találtak, amely az agrivoltaikus rendszerek megvalósításának körülményeit vizsgálta volna. Mindazonáltal az energiatermelés és a mezőgazdasági tevékenységek összekapcsolásának gazdasági és pénzügyi vizsgálata többször megjelent a publikációk között, mint például a megvalósítás költségei, várható bevételek, költség-haszon elemzés. Az akkor vizsgálat kutatások módszertani előnyei közé tartozik, hogy túlnyomó többségük technikai, infrastrukturális, hagyományos szabadföldi mezőgazdasági ültetvényeken és üvegházi mezőgazdasági termesztésen alapult, és nagy mintán végezték őket. A hiányosságok között meg lehet említeni, hogy a tanulmányok elsődleges adatokat használtak, és az adatelemzés gyakran leíró statisztikákra korlátozódott.



5. ábra **Publikációk számának megoszlása az első szerző nemzetisége alapján**

Forrás: saját szerkesztés

Az 4. ábra 2 különböző időszakra vetítve mutatja az egyes cikkek első szerzőinek országonkénti megoszlását. Az adatok jelen bibliometrikus kutatási adatokon, és a már említett „Worldwide Research Trends in Agrivoltaic Systems—A Bibliometric Review” (Chalgybayeva et al., 2023). Bár el kell ismerni, hogy minimális eltérés jelentkezett a kulcsszavak különbségei miatt, de alapvetően ugyanazok az országok jelentek meg a térképen. A legkiemelkedőbb továbbra is az USA, több mint dupla annyi publikációval, mint a második helyen álló Németország. Az, hogy Egyesült Államok nagy potenciált lát az agrofotovoltaikus rendszerekben egyáltalán nem meglepő: a területi adottságok (kiterjedt mezőgazdaság, jelentős napos órák száma, nagy mértékű piaci felvétel, mind az élelmiszerek, mind az elektromos áram tekintetében) miatt indokolt a nagy számú publikáció is. 2021-ben már nem csak a technikai részéről készült kutatás, hanem a jogi háttérrel is (Pascaris, 2021.) Az itt talált eredmények azt mutatják, hogy a többszintű, több ágazatot érintő szakpolitikai integráció elengedhetetlen az agrofotovoltaika előmozdításához, és hogy a napenergia és a mezőgazdasági földhasználati rendszerek összehangolására irányuló stratégiai intézkedések katalizálhatják ennek az ígéretes technológiának a terjedését az Egyesült Államokban.

Bíró-Varga et al. által Hollandiában végzett kutatás (2024) Culemborg és Wadenhoijen lakosai körében végezték és a felmérés során tizenegy tájminőségi tényezőt értékelték, hogy összehasonlítsák az agrofotovoltaikus rendszerek építése előtti és utáni tájélményeiket. Azt találta, hogy a válaszadók támogatják a mezőgazdasági termelők részvételét az energiaátalakításban és az agrofotovoltaika multifunkcionális jellegét, aggodalmukat fejezik ki az élővilágra gyakorolt hatás és a tájak vonzerejének csökkenése miatt. Ez a tanulmány a táj és az energia kapcsolatának további kutatási irányait javasolja, és ajánlásokat fogalmaz meg a tájat is magában foglaló agrofotovoltaikus erőművek fejlesztéséhez.

A német mezőgazdasági termelők körében 2023 februárjában online felmérést végeztek (Wagner et al., 2024). Az adathalmaz 214 gazdálkodóból állt. A kutatási cél megválaszolása érdekében faktorelemzést és bináris logisztikus regressziót végeztek. Az eredmények azt mutatják, hogy a gazdálkodók 72,4%-a hajlandó lenne az agrofotovoltaika használatára. A technológia „észlelt hasznossága” van a legerősebb hatással, ezt követi a „szubjektív norma” és a gazdálkodó „innovativitása”. A gazdálkodók számára az agrofotovoltaika legfontosabb funkciója a kiegészítő jövedelemforrás és a gazdaság jövőbeli fejlődése. Továbbá a technológiába vetett bizalom hiánya nem jelent akadályt. Azonban a bürokrácia és a bizonytalan szabályozási keretek jelentős akadályt jelentenek, csakúgy, mint a földek nagyobb kihívást jelentő mezőgazdasági feldolgozása. A kutatásból kiderül, hogy a jövőbeni erőfeszítéseknek e kihívások kezelésére kell összpontosítaniuk, hogy lehetővé váljon a széles körű bevezetés és az agrofotovoltaika potenciális pozitív hatásának megvalósítása a mezőgazdasági és energetikai ágazatban.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Tudományos kutatási trendek módszertana

Kutatásaim – a téma újszerűségéből fakadóan - elsősorban az interneten hozzáférhető, naprakész tudományos, jellemzően angol nyelvű szakirodalmak feltérképezésén és rendszerezésén alapult. A jelenlegi és jövőbeni tudományos trendek vizsgálatára bibliometrikus elemzést végeztem, amely egy olyan módszer a szisztematikus áttekintéseken belül, amely a tudástermelés és -felhalmozás mintáit elemzi kvantitatív szoftvereszközök segítségével, hogy megvizsgálja az olyan nagyszámú dokumentumból származó bibliográfiai adatokat, mint a Scopus.

Ez a szisztematikus irodalmi áttekintés, azon belül is bibliometrikus áttekintés 2024. augusztusáig történt. A téma figyelembe vétele után a befogadási és kizárási kritériumokat a kutatás céljainak megfelelően hajtottuk végre. Az irodalomkutatást 2011-2024 időszámban végeztük a SCOPUS adatbázis segítségével. Az agrifotovoltaikus rendszer témához kapcsolódó dokumentumok metaadatainak lekérdezése 2024. augusztus 15-én történt. A SCOPUS-t választottuk megfelelő adatbázisnak ehhez a tanulmányhoz, mivel a kutatási témával kapcsolatos cikkek többségét ebben az adatbázisban találtuk. A teljes szövegű, szakértői értékeléssel ellátott eredeti kutatási cikkeket, beleértve a folyóiratokat és a konferencia- előadásokat is, választottuk ki ehhez a szisztematikus felülvizsgálathoz, mivel ezek a cikkek olyan értékelési folyamaton mentek keresztül, amelyben a folyóirat szerkesztői és tudományos szakértők kritikusan értékelik a minőséget, és a szakértői értékelés eredményeként hitelesek. Ebbe a rendszerszintű áttekintésbe csak angol nyelvű tanulmányokat vettük bele, mivel a SCOPUS-adatok elemzése nyilvánvalóan a kutatásban és a tudományos publikációkban használt angol nyelv használatát mutatja, mivel a kiválasztott kulcsszavakkal megjelent akadémiai publikációk 97,4%-a angol nyelvű.

A bibliometrikus vizsgálathoz a Scopus adatbázisát használtam. A kulcsszavak kiválasztásakor a korábban végzett szisztematikus vizsgálatok és a témában olvasott leggyakrabban használt szavakat vettem alapul. A következő kulcsszavak alapján kerestem a témába illő publikációkat:

- agrivoltaic
- agrovoltaic
- agrophotovoltaic

- agriphotovoltaic
- "agro-PV"
- "agri-PV"
- "Photovoltaic farming"
- "Photovoltaic agriculture"
- "solar farming"
- agrivoltaics
- argovoltaics
- agriphotovoltaics
- agrophotovoltaics

Bár a termőföldek duális hasznosítása már régóta lényeges téma, az agrofotovoltaikus rendszerekről először 2011-ben jelent meg (Chalgybayeva et al 2022)), így a vizsgálathoz ezzel a kezdő dátummal kerestük a dokumentumokat:

- 2011-2024

A dokumentumok típusát korlátoztam a következőkre:

- Article
- Conference paper
- Review
- Book chapter

A nyelvek szerinti megoszlás tekintetében érdemes figyelembe venni, hogy 673 db angol nyelvűt találtam, az egyéb, általam nem beszélt nyelveken összesen 18 db készült (kínai: 8; német: 5; olasz: 1; japán: 1; ukrán: 1; spanyol: 1; koreai: 1). A nyelvi korlátok és az elenyésző számosság miatt a kutatást angol nyelvű dokumentumokra korlátoztam.

A dokumentumok elérhetőségének típusát „open access”, azaz teljes dokumentum elérhetőségre korlátoztam, hogy átfogóan vizsgálni lehessen, hogy valóban relevánsak-e a dokumentumok a agrofotovoltaika szempontjából. Ezt azért találtam szükségesnek, mert ez még egy niche téma, két szintén széles körben vizsgált téma találkozásánál, így nagy a kockázata annak, hogy csak felszínesen érintett cikkek is bekerülnek, ezzel rontva a pontosságon.



6. ábra: Az előzetes szelektálási folyamatban szereplő dokumentumok nyelvek szerinti megoszlása

Forrás: saját szerkesztés

- „open access” dokumentumok: 348 db

A következő lépésben a téma szempontjából irreleváns dokumentumok kiválogatása következett, ezzel 89 db dokumentumok eliminálódott. Ezek kiválogatásánál a szempont az volt, hogy kifejezetten az agrofotovoltaikus rendszerek technikai, gazdasági vagy operatív elemzéséről szóljanak. Így végül 259 db dokumentum adatainak kiimportálásával készült el a kutatás SCOPUS rendszert használva. A SCOPUS kiválasztása azon alapszik, hogy ebben az adatbázisban lehet megtalálni a legtöbb témához kapcsolódó cikket és dokumentumot, illetve innen lehet egyszerűen kiimportálni olyan formátumban, hogy a VOSViewer által is értelmezhető legyen.

A folyóiratok értékelésére két különböző értéket veszek alapul, az egyik a Hirsch-index, a másik az SJR szám. Hirsch az indexet a következőképpen definiálta: „Egy kutató h-indexe h, ha h számú publikációja külön-külön legalább h idézetet kapott, a többi publikációja pedig külön-külön kevesebb, mint h idézetet.” (Hirsch [2005a] 1. old.) A Hirsch-index előnye abban rejlik, hogy egyszerre jellemzi mind a mennyiséget (a publikációk számát), mind a minőséget (a publikációkra való hivatkozások számát) (Honváriné, 2017).

A folyóiratok tudományos presztízsének méretfüggetlen mutatója, a SCImago Journal Rank (SJR) mutató, amely a tudományos folyóiratokat az idézési súlyozási sémák és a

sajátvektor-centralitás alapján rangsorolja. A mutatót olyan összetett és heterogén idézettségi hálózatokkal való használatra tervezték, mint a Scopus. (González-Pereira, 2010)

3.2 Potenciálszámítás módszertana

A potenciálszámítás során Microsoft Excel segítségével végeztem a számításokat. Fontos volt a különböző mértékegységben szereplő energiamennyiségek összehasonlíthatóak legyenek, így az átszámításra egy online kalkulátort használtam e célra. (<https://www.unitconverters.net/>) A világszintű és hazai potenciálok számítása kis mértékben eltér, mivel a globális becslésnél a statisztika szerint meghatározott 4,8 milliárd ha termőterületet egyben kezelem, nem bontom szét különböző hasznosítási egységekre, mint a hazai értékek számításánál és értékelésénél. A hazai potenciálszámításnál figyelembe veszem, hogy szántó, gyeplő, gyümölcsös, szőlő vagy konyhakert a bejegyzett terület, a használhatóságot ez alapján állapítom meg, ezzel igyekezve pontosabb képet adni a hazai agrofotovoltaikai lehetőségekről.

3.3 Mélyinterjú célkitűzése és módszertana

A Debrecenben 2022-ben létesített fotovoltaikus rendszer kiemelkedő projektnek számít Magyarországon. Az elemzésben az alábbi alap adatokat érdemes figyelembe venni: a naperőmű bruttó kapacitása 28,8 MW, nettó kapacitása pedig 24 MW, amelyet 52 ezer JA Solar típusú panel biztosít. A park 52 hektáros területen helyezkedik el, dél-keleti irányban, ami hosszabb benapozottságot eredményez, bár megnöveli a nyári felmelegedést. A 10,3 méteres sortávolság és a panelek 30 fokos dőlésszöge központi elemei a rendszer árnyékolás optimalizálásának, amely télen és nyáron egyaránt a maximális napenergia-hasznosítást célozza. Mindezekről üzemlátogatás során egy üzemeltetést támogató szakember meglátásait és véleményét mutatjuk be, akit párbeszédeseleggel kérdeztünk, és az alábbi kérdésekre keressük a választ:

1. Hogyan optimalizálták a rendszer elhelyezését és dőlésszögét?
2. Milyen szél- és környezeti védelem valósult meg?
3. Milyen költség- és fenntarthatósági előnyökkel, illetve kihívásokkal jár a projekt üzemeltetése?

4. Milyen társadalmi és környezeti hatások befolyásolják a beruházás hosszú távú sikerét?

3.4 Közvéleménykutatás módszertana

A kérdőíves felmérést Google Űrlapok segítségével, online formában. A vizsgálatban 37 felnőtt (18 év feletti) és 42 fiatal (18 év alatti) vett részt, de fontos, hogy a két korcsoport közötti vizsgálatot külön végeztem, hogy az esetleges generációs különbségek megjelenése mélyebben elemezhető legyen. Átlagosan a válaszadók 84%-a hajdúnánási lakos, a fentmaradó kb 16% százalék pedig vagy munkahely, vagy oktatási intézmény kapcsán kapcsolódik a városhoz. A nemek szerinti megoszlás tekintetében a kitöltők átlagosan 29,85%-a férfi, 70,15%-a nő, ami jelentős különbséget mutat és indikálja, hogy a nők válaszadási hajlandósága magasabb.

A téma újdonsága miatt egy magyarázó ábrát helyeztünk el az agrofotovoltaikáról, aminek segítségével néhány mondatban bemutatott a technológiát.

A kérdőívben a következő kérdéseket tettük fel:

- Mennyire fontos Neked/Önnek a környezetvédelem? (skálás válasz)
- Milyen energiát lehet előállítani közvetlenül napelemmel? (kiválasztás, akár több válasz megjelölésével)
- Az alábbiak közül melyik napelem? (itt két ábra közül választhatták, akár mindkettőt)
- Mennyire fontos Neked/Önnek, hogy otthon legyen előállítva a felhasználásra kerülő energia? (skálás válasz)
- Telepítenél-e napelemet a házatok tetejére? (Igen/Nem/Talán)
- Telepítenél-e napelemet a kertedbe? (Igen/Nem/Talán)
- Szívesen hallanál-e többet az alternatív energia előállítási lehetőségekről, és ha igen hol? (kiválasztás, akár több válasz megjelölésével)
- Mennyire tartja működőképes, társadalom által elfogadható technológiának az agrofotovoltaikát? (Válaszában kérem, hogy mind a vizuális megjelenést, hasznosítási lehetőségét, környezetvédelmi törekvését, stb. vegye figyelembe) (skálás válasz)

4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1 APV potenciális jelentőségére vonatkozó saját becslés

Az agrofotovoltaikus rendszerek globális potenciáljának meghatározása természetesen nem egy gyakorlati adat, sokkal inkább arra akar rávilágítani, hogy mennyi lehetőség rejlik a technológiában az energia liberalizáció irányába.

Ahogy korábban a bevezető részben is említésre került, a fotovoltaika sok formában telepíthető, legyen szó vízfelszínen, háztetőn, vagy parkolók felett elhelyezett napelemekről, de kifejezetten az agrofotovoltaika a termőterületek kettős hasznosítását szorgalmazza, tekintve, hogy világszinten 4,8 milliárd hektárnyi terület számít ebbe a kategóriába.



7. ábra Folyamatábra az APV rendszer világpotenciáljának számításáról

Forrás: saját szerkesztés

Ahogy a folyamatábra számítása mutatja, az összes termőterület kb. 1/3-ának napelemekkel való lefedése az éves energiafogyasztásunk több mint hétszeresének megfelelő mennyiséget lennének képesek termelni.

Ahogy korábban világszinten is meghatároztuk az elméleti potenciálját az agrofotovoltaikus rendszerben való energiatermelésnek, hasonló mintára, ám lényegesen pontosabb becslést lehetővé tevő módszertannal ezt hazai viszonylatban is fontosnak tartjuk meghatározni. A World Bank számításai szerint az éves átlagos teljesítmény 1255,6 kWh/kWp, és a korábban is alkalmazott 32%-os területi mennyiségnek megfelelő mennyiségű napelemek telepítésével és a 555,5 kWp rendszer feltételezésével, a magyarországi APV potenciál is meghatározásra került:

1. táblázat: Magyarországi mezőgazdasági területek agrofotovoltaikus potenciálja

	adatok hektárban (2022)	APV rendszerben telepíthető napelemek területmennyisége (ha)	APV rendszerben előállítható energia mennyisége (TWh/év)
Szántó (Sz=B)*	4 162 900	1 332 128	929,14
Gyep (Sz=B)	771 300	246 816	172,15
Gyümölcsös (Sz=B)	83 700	26 784	18,68
Szőlő			
Sz	60 200	19 264	13,44
B			0
Konyhakert Sz			
B (15/82)**	2 900	928	0,65
			0,11
Mezőgazdasági területek összesen	5 081 100	1 625 952	1120,08
Mekkora területre lenne szükség Magyarország energiafogyasztásának biztosítására?	919 344		éves országos energiaigény: 207,8 (KSH, 2024)

(*összes terület 32%-a; Moreda et al. (2021))

(**Sz=elméleti számított potenciál; B=elméleti beszámított potenciál)

(***15/82: Azoknak az aránya, akik a közvéleménykutatás alapján szívesen telepítenének napelemet kertjükbe)

Forrás: saját szerkesztés

A KSH (2024) adatai szerint a 2022-ben a végső felhasznált energiamennyiség 748 PJ volt, ami nagyjából 207,8 TWh-nak felel meg. Az elméleti potenciál szerint Magyarország majdnem hatszorosát tudná megtermelni az éves fogyasztásának, ha a jelenlegi szántó, , gyümölcsös, gyep és konyhakert területekre APV-rendszert telepítenénk. Ezen művelési ágak figyelembe vételének, illetve elhagyásának indokoltsága:

Szántó

A mezőgazdasági területek nagy részét szántók teszik ki, a kicsit több, mint 4 millió hektár kettős hasznosításával már bőségesen fedezni lehetne az éves energiaszükségletünket. Gyep

A területileg második legnagyobb mennyiséget képviselő mezőgazdasági területtípus a gyep, ezen a művelési ágon a legolcsóbban létrehozható és növénytermesztési bevételek szempontjából legkisebb kockázattal jár az APV rendszerek létrehozása.

Gyümölcsös

A gyümölcsösök APV hasznosítása azért is lehet megfontolandó, mert a napelem nyújtotta védelem biztosítani tudja a jégeső és nyári napperzselés elleni védelmet, illetve az esővízgyűjtés egyszerűsége miatt az öntözés is költséghatékonyabbá válhat.

Szőlő

A déli vagy délnyugati fekvésű szőlőbirtokok tökéletes helynek tűnhetnek a déli vagy délnyugati tájolást megkívánó fotovoltaikus rendszereknek, de éppen ezért nem életszerű az ide való telepítése. A domborulat beesési szöge magában rejti annak a kockázatát, hogy a növény jelentősen kevesebb napfényhez jut, és abból adódóan, hogy erre a szőlő a többi növénytől sokkal érzékenyebb, sokkal nagyobb lenne a hozam- és bevételvesztés, ezért itt a gyakorlatban nem várható APV rendszerek létesítése, így a számított elméleti potenciált meghatároztuk de a beszámítható elméleti potenciál nulla.

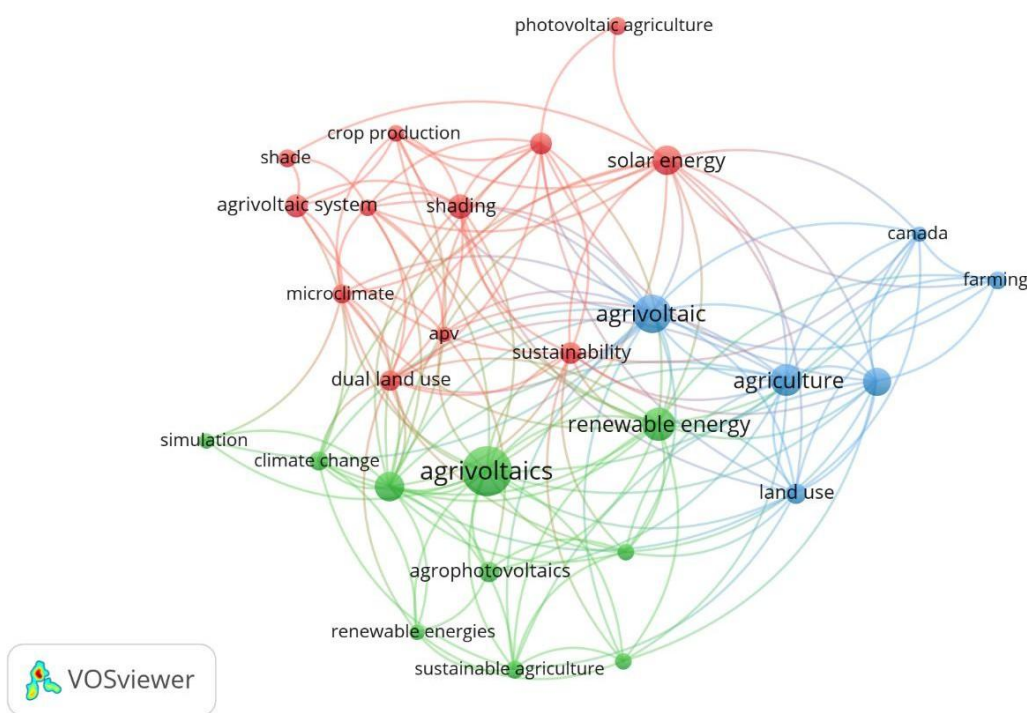
Konyhakert

Bár nem nagy területet jelent, de az energialiberalizáció szempontjából legígéretesebbnek mutatkozik a konyhakertek hasznosítása. A lakossági energiafogyasztás 2022-ben kb. 67,33 TWh óra volt, és ennek csupán kb. 1%-át fedezné a kertekben megtermelt energia, de a háztetőkön elhelyezett napelemekkel együtt, azok kiegészítésére egy érdekes felvetés lehet. A beszámított elméleti potenciálnál azt az arányt vettük figyelembe, ahányan szívesen telepítenének agrofotovoltaikus rendszer a kertjükbe (15/82). Adódik a kérdés: mégis mekkora terület kellene agrofotovoltaikus rendszerben működtetnünk, hogy fedezhessük az éves energiaszükségletünket? Az arányosítás egyszerű, így kiderül, hogy kevesebb, mint 1 millió ha területet kellene kettős hasznosításba vonni. Ez a szántóink 1/4 részét jelentené, és természetesen hatalmas beruházási költséggel járna. A korábban említett 672 000 EUR/ha beruházási költséggel számolva ez hozzávetőlegesen 617,8 milliárd EUR, ~247 120 milliárd Ft, ami az országos

GDP (2023: 75 086,6 milliárd Ft, ksh.hu (2024)), több mint háromszorosát igényelné.

4.2 Jelenlegi és várható tudományos trendek

Az 7. ábra a leggyakrabban előforduló kulcsszavakat mutatja a 259 db dokumentum vizsgálatakor. Kritériumként meg lett határozva, hogy a kulcsszavaknak minimum 5 alkalommal szerepelniük kell. A betűméret jelzi a gyakoriságot – minél nagyobb betűmérettel szerepel egy kulcsszó, annál többször szerepel. A szavak közötti vonalak az együtt említésre utalnak, tehát, hogy a szerzők kapcsolatot találtak a kulcsszavak között vagy eleve kapcsolatot feltételeztek. A különböző színek különböző klasztereket, tehát témaegységeket alkotnak.

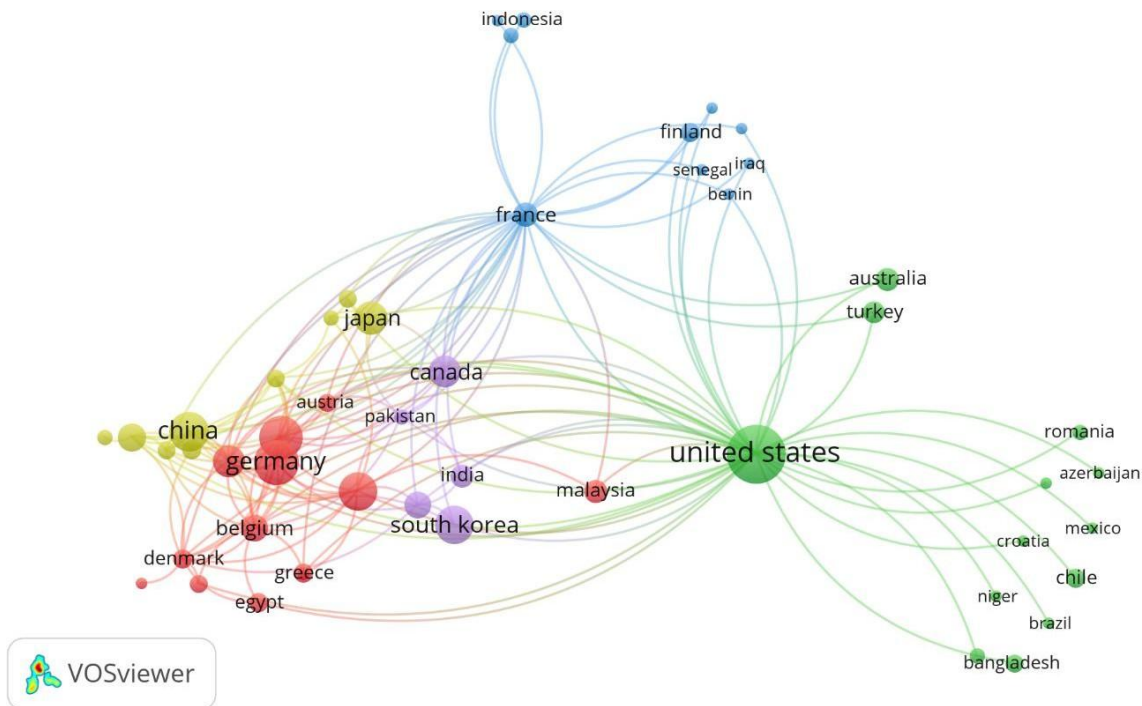


8. ábra Leggyakoribb kulcsszavak kapcsolata

Forrás: saját szerkesztés

Ezek alapján jól látható, hogy 3 nagy témaegység rajzolódott ki. A zöld klaszter leginkább a fenntarthatósággal – „sustainable agriculture”, „renewable energies” – foglalkozik, ebből a szemszögből közelíti meg a témát. A kék témaegység a növény termesztési oldallal foglalkozik leginkább – „land use”, „farming”, „agriculture” -, a piros témaegység pedig mindezek kombinálására fókuszál – „photovoltaic agriculture”, „apv”, „dual land use”. Érdemes figyelembe venni, hogy az ábra közepén a „sustainability”, tehát fenntarthatóság szerepel, utalva arra, hogy a vizsgált kutatások középpontjában is ez a kulcsszó áll. A korábbi grafikon is jól mutatta, hogy a különböző

országok – vagyis az első szerzők nemzetisége – milyen országokat rajzol ki a térképen, akik jelentős szerepet vállalnak a téma feldolgozásában, de az 5. ábra ennél is többet mutat: a publikációk során citált első szerzők nemzetiségének országai jelennek meg ebben a hálózatban, és 5 klaszter kialakulása figyelhető meg.



9. ábra **Citációk országok szerinti összeköttetésben**

Forrás: saját szerkesztés

Nem meglepő, hogy az USA-szerzők művei széles körben citáltak, ezt jelzi a zöld klaszter. A kék csoport Franciaország központú, a piros klaszter németországi cikkek köré rendeződik, a sárga csoport Kínával és Japánnal a Távol-Keletet képviseli, de szorosan zár a piros csoporttal, míg a közepén elhelyezkedő lila csoport Dél-Korea központú. Érdekes, hogy a kialakult citálási hálózat egyes csoportjai kevésbé földrajzi alapúak, jó példa erre a Franciaország-Indonézia kapcsolat. A 2022-ben elkészült bibliometrikus vizsgálatban az egyik lényeges rész a témával foglalkozó folyóiratok vizsgálata volt, így a megjelent cikkek darabszáma alapján ezt a jelenleg vizsgált cikkekre vonatkoztatva is elvégeztem. Említésre méltó, hogy a 10 legtermékenyebb folyóirat pontosan ugyanaz maradt, mint 2 évvel ezelőtt. Minden folyóirat megjelent cikkeinek száma nőtt és csak belső

átrendeződés történt. A jelenlegiek alapján legjobban teljesítő „Agronomy” a 3. helyről az 1. helyre került a 19 megjelent cikkel.

2. táblázat: A témában legtöbbet publikáló folyóiratok és cikkek száma

2022			2024		
	Folyóirat	Megjelent cikkek (db)		Folyóirat	Megjelent cikkek (db)
1.	AIP CONFERENCE PROCEEDINGS	11	1.	AGRONOMY	19
2.	APPLIED ENERGY	9	2.	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	18
3.	AGRONOMY	8	3.	APPLIED ENERGY	17
4.	ENERGIES	7	4.	AIP CONFERENCE PROCEEDINGS	17
5.	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	7	5.	ENERGIES	14
6.	IOP CONFERENCE SERIES	4	6.	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	5
7.	RENEWABLE ENERGY	4	7.	RENEWABLE ENERGY	9
8.	SCIENTIFIC REPORTS	4	8.	SCIENTIFIC REPORTS	5
9.	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	3	9.	IOP CONFERENCE SERIES	4
10.	PLOS ONE	3	10.	PLOS ONE	4

Forrás: saját szerkesztés

A második helyen a „Sustainability (Switzerland)” 18 db cikkel, majd „Applied Energy” 17 db cikkel, „AIP conference” ötödik helyen az „Energies” 14 db cikkel. Fontos kiemelni, hogy jó értékeléssel rendelkező folyóiratokról van szó, ennek alátámasztására szolgál az alább található táblázat. A 2. táblázat a megjelent cikkek – és ebből fakadóan a kutatásba került cikkek – minőségi megítélése szempontjából fontos. A 3. táblázatban szereplő folyóiratok többsége Q1 rangsorolást kapott, ami azt jelenti, hogy a téma a legmagasabb szintű folyóiratok számára is érdekes.

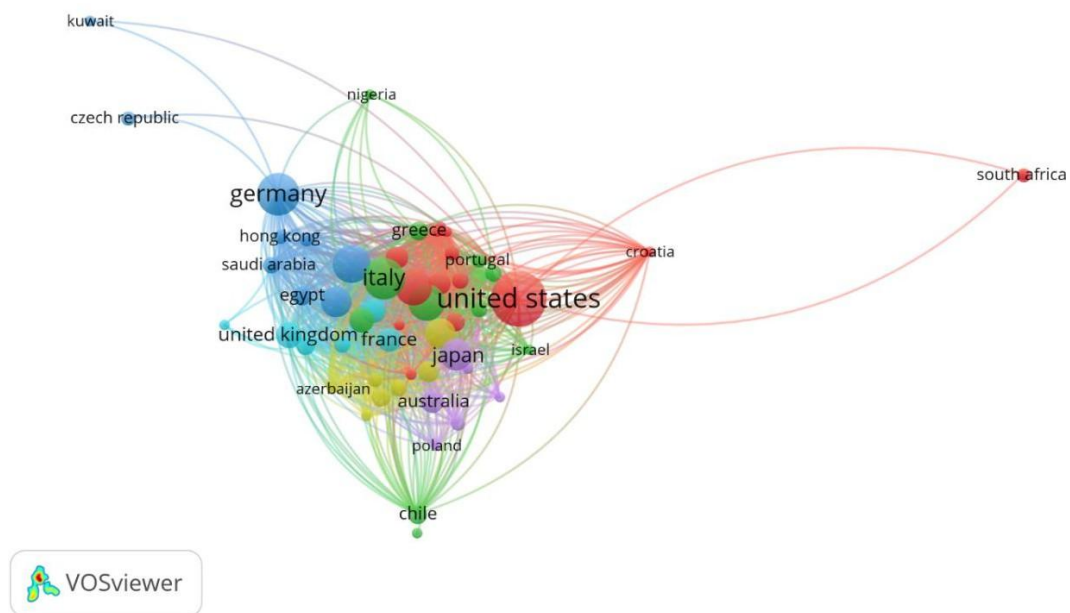
3. táblázat: Folyóiratok értékelései

	Folyóirat/kiadvány	Kiadó	Ország	H-index	SJR (2023)
1.	AGRONOMY	John Wiley & Sons.	Egyesült Államok	152	0,61 (Q1)
2.	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	MDPI	Svájc	169	0,67 (Q1/Q2)
3.	APPLIED ENERGY	Elsevier	Egyesült Királyság	292	2,82 (Q1)
4.	AIP CONFERENCE PROCEEDINGS	American Institute of Physics	Egyesült Államok	83	0,15 (nincs besorolva)
5.	ENERGIES	MDPI	Svájc	152	0,65 (Q1/Q2)
6.	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	Elsevier	Egyesült Királyság	309	2,06(Q1)
7.	RENEWABLE ENERGY	Elsevier	Egyesült Királyság	250	1,92(Q1)
8.	SCIENTIFIC REPORTS	Nature Publishing Group	Egyesült Királyság	315	0,9(Q1)
9	IOP CONFERENCE SERIES	IOP Publishing Ltd.	Egyesült Királyság	48	0,2(nincs besorolva)
10.	PLOS ONE	Public Library of Science	Egyesült Államok	435	0,84(Q1)

Forrás: saját szerkesztés

A 11. ábrán bemutatott kapcsolati hálózat az országok közös publikációit jelöli. A 2 leginkább kiemelkedő ezekből az USA és Németország, vagyis a vizsgált adatbázis folyóiratainak figyelemre méltó része készült ezen két ország bekapcsolódásával. Ami érdekes, hogy a két fő pólus nem közvetlenül egymás mellett helyezkedik el, így feltételezhető, hogy van együttműködés Németország és az Egyesült Államok között a kutatások során, de jellemzőbb, hogy egyikhez vagy másikhoz csatlakozik be egy 3.ország publikálója, amikor az agrofotovoltaika témaköréről ír.

Az agrifotovoltaikus (APV) rendszerek fejlődését vizsgáló három tanulmány esetszámainak összehasonlítása a 4. táblázatban jól mutatja, hogy ezek a rendszerek egyre növekvő érdeklődést váltanak ki mind a mezőgazdaság, mind az energiatermelés területén. Az egyes tanulmányok különböző módokon közelítik meg az APV rendszerekkel kapcsolatos kutatásokat, miközben mindegyik célja, hogy rávilágítson az agrifotovoltaikus technológiák elterjedésére és potenciális előnyeire.



10. ábra **Országok közös publikációi (az első szerzők nemzetisége alapján)**

Forrás: saját szerkesztés

A 2022-ben megjelent tanulmány 98 dokumentum elemzésével készült (4.táblázat), és legfőbb fókusza az APV rendszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatára és a különböző méretű konkrét erőművek elemzésére irányul. A szerzők a dokumentumokat két fő kategóriába tudták beosztani: egyrészt az alkalmazási lehetőségeket kutató dokumentumokra, másrészt a konkrét, működő erőművekkel foglalkozó tanulmányokra. Utóbbi kategória tovább bontható a kisebb (<100 kW) és a nagyobb rendszerekre, amelyek elemzése a technológia gyakorlati alkalmazhatóságának értékeléséhez járul hozzá. A 2023 januárjában publikált második tanulmány bibliometrikus elemzést nyújt az APV rendszerekkel kapcsolatos 121 dokumentum alapján, részletes kulcsszó-alapú keresés alapján. A kulcsszavak, mint például az „agrivoltaic,” „agrophotovoltaic” vagy „solar farming” segítik a tanulmány készítőit abban, hogy világos képet adjanak a technológiai fejlesztések irányáról és globális kutatási trendekről, miközben az APV rendszerek többféle alkalmazási lehetőségét is azonosítják. A 2023-as kutatás megállapítja, hogy az APV rendszerek kutatási iránya a fenntartható mezőgazdaság és energiatermelés kettős céljának szolgálata. A 2024 októberében saját bibliometrikus elemzésem már 259 dokumentumot vizsgál. Minimális kulcsszó variációs kiegészítést végeztem, ez főleg az agrivoltaic/agrivoltaicCS típusú kiegészítést jelenti. Bár az össze vizsgált tanulmány angol nyelven íródott, az angol nyelvterületek hajlamosabban a „CS” végződés használatára, míg a nem anyanyelvi angol területek gyakran csak „C”

végződést használnak.

4. táblázat: A korábbi és jelenlegi publikációk vizsgálatának összehasonlítása

Dokumentum címe	A review of research on agrivoltaic systems	Worldwide Research Trends in Agrivoltaic Systems—A Bibliometric Review	Agrofotovoltaikus rendszerek fejlődésének és potenciáljának vizsgálata
Megjelenés dátuma	2022. június	2023.január	2024.október
Vizsgált dokumentumok száma	98 db	121 db	259 db
Kulcsszavak	nem ismert, de: 48 db kutatás az alkalmazási lehetőségekről 50 db kutatás konkrét erőművek vizsgálata, ebből: 14 db kisméretű rendszer (<100 kW) 36 db nagyméretű rendszer	agrivoltaic agrovoltaic agrophotovoltaic agriphotovoltaic “agro-PV” „agri-PV” „Photovoltaic farming” “Photovoltaic agriculture” ” Solar farming”	agrivoltaic agrovoltaic agrophotovoltaic agriphotovoltaic "agro-PV" "agri-PV" "Photovoltaic farming" "Photovoltaic agriculture" "solar farming" agrivoltaics argovoltaics agriphotovoltaics agrophotovoltaics
Legfőbb felismert klaszterek	nem ismert	kettős hasznosítás energiatermelés növénytermesztés	kettős hasznosítás energiatermelés növénytermesztés

Forrás: saját szerkesztés

A kulcsszó-beli eltérésen kívül a dokumentumok gyűjtésének időbeli eltérése a másik oka annak, hogy több mind dupla annyi publikáció került az elemzésbe, ami jól mutatja, hogy az utóbbi időben felkapottabb lett a téma.

4.3 Szakértői mélyinterjú nagyüzemi PV-telep üzemeltetőjével

2024 februárjában Debrecen határában tett üzemlátogatásunk során az üzemeltetésért felelős szakembert kérdezhettük, aki nagyon segítőkészen válaszolt az összes kérdésünkre és osztott meg olyan sajátosságokat, amelyek az elméleti tervezés

során nem feltétlenül merülnek fel.

4.3.1 Telepítés, költségvetés és finanszírozás

A beruházás összköltsége 11,52 milliárd HUF, amelyből 4,297 milliárd HUF állami támogatás, a többi saját forrás. A költségek feloszlása jól tükrözi a projekt főbb elemeit: a napelemek beszerzése tette ki a költségek 60%-át, míg a tartószerkezet és transzformátorállomások 15-15%-át, az inverterek 5%-át, a maradék 5%-ot pedig a telepítéshez szükséges kiegészítő munkák, mint például a talajmunkák és biztonsági rendszerek alkották. A telepítés fél év alatt valósult meg, ami gyors megvalósításnak tekinthető az ilyen méretű beruházások körében.

4.3.2 Üzemeltetési és fenntartási tényezők

Az üzemeltetési költségek évente tízmillió Ft-os nagyságrendűek, ami magában foglalja a napelemek tisztítását, a gyomirtást és az esetleges üzemzavarok elhárítását. A panelek tisztítása speciális eszközöket és vízellátást igényel, mivel a természetes csapadék nem elegendő a lerakódott szennyeződések eltávolításához, ami komoly árnyékolási problémákat eredményezhet. A gyomirtást évente háromszor végzik, de új kutatási irányként a gyomosodás csökkentésére olyan növénykeverékek telepítésével is kísérleteznek, amelyek természetes módon gátolják a gyomnövények növekedését. A rendszer üzemeltetése során kiemelt jelentőséggel bír a rendszeres tisztítás és gyomirtás, amely az energiahatékonyság fenntartása érdekében elengedhetetlen. A lerakódásokból eredő árnyékolás gyorsan csökkentheti a panelek hatékonyságát és élettartamát. Az inverterek élettartama 10-15 év, 24 panelenként egy inverter van telepítve, ami optimalizálja az energiaelosztást és csökkenti az áramvesztést.

4.3.3 Energiatermelés és CO₂-megtakarítás

Az évente 33 ezer tonnányi CO₂-megtakarítás a napelempark egyik legnagyobb pozitívuma, hozzájárulva a fenntarthatósági célok eléréséhez. A MAVIR felé történő folyamatos értékesítés mellett a rendszer teljesítménye időjárási előrejelzések és szabályozási kötelezettségek szerint optimalizálható. Ennek következtében, túltermelés esetén a termelés csökkenthető, amiért kompenzáció jár, biztosítva a projekt gazdaságos működését.

4.3.4 Árnyékolás és élettartam összefüggései

Az árnyékolás elkerülése alapvető cél, mivel a panelek élettartama jelentősen csökkenhet árnyékolás esetén, amely gyorsított elhasználódást okoz. Az elhelyezési és dőlésszög- beállítások révén a nyári és téli időszakban egyaránt biztosítható a maximális benapozottság, növelve ezzel a rendszer gazdaságosságát és hosszú távú fenntarthatóságát.

4.3.5 Költséghatékonysági szempontok

A beruházás költségei jórészt méretgazdaságossági szempontok szerint alakultak. Bár az egyes komponenseknél (pl. napelemek, inverterek) nem áll fenn nagy mértékű méretgazdaságosság, az üzemeltetési és kiegészítő beruházások (kerítés, biztonsági rendszerek) költségei az üzemi mérethez igazodva kisebbek. Az energiaátviteli csatlakozási költségek azonban növekedtek, mivel a park távolabb helyezkedik el a településtől, így a csatlakozási pont távolsága hosszabb kábelfektetést igényelt.

4.3.6 Társadalmi és környezeti körülmények

A telepítés során kiemelt figyelmet fordítottak a rendszer szélállóságára, amely garantálja, hogy 20 m/s-os szélerősségig védve van a szélkároktól. Ennek ellenére egy korábbi vihar (tornádó jellegű szél) komoly károkat tett több tíz panelben, az ezzel kapcsolatos biztosítási jogérvényesítés nehézkes volt. Az elhelyezés továbbá a talaj minőségéhez is igazodott, különböző kihívásokkal: a laza talaj mélyebb alapozást, a köves talaj pedig nehezebb fúrási munkálatokat igényelt. A napelempark telepítése a helyi társadalomban is változásokat eredményezhet. A telepítés szociális aspektusai közé tartozik a falvak melletti elhelyezés, ahol az alacsonyabb jövedelmű lakosok között olykor megjelenhet az idegen infrastruktúra elleni ellenállás, amely rongálásokhoz vezethet. A telepítés távolabb, a településtől elkerített területen csökkenthetné ezt a kockázatot, de növelné az építési költségeket. A gyomosodás visszaszorítása érdekében folyamatos kutatások zajlanak alacsony növésű, kevésbé árnyékoló növényfajok alkalmazására. Az ilyen növénymixek elnyomhatják a magas gyomnövényeket, és kevesebb karbantartást igényelnek. Az eddigi kísérletek ígéretesek, és akár egy fenntartható gyommentesítési megoldást is jelenthetnek a jövőbeni naperőművek számára.

4.4 Saját közvéleménykutatás az APV-rendszerekről

A közvéleménykutatásom célja a fotovoltaikus és agrofotovoltaikus rendszerek

iránti társadalmi – jelen esetben hajdúnánási – tájékozottság és elfogadottság vizsgálata.

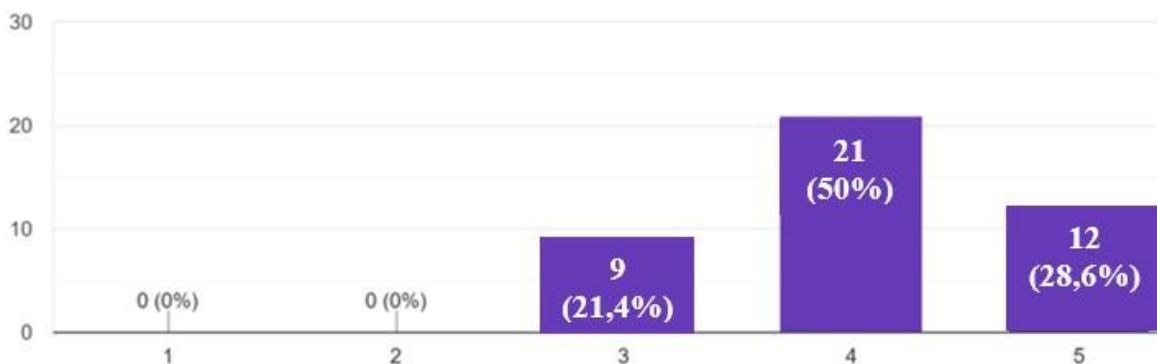
A korábbiakban bemutatott kérdések kapcsán a következő válaszokat kaptuk:

○ Mennyire fontos Neked/Önnek a környezetvédelem? (skálás válasz)

Itt jelentős különbséget kaptunk a középiskolások és a felnőttek válaszai között, bár általánosan kijelenthető, hogy a környezetvédelem senki számára sem elhanyagolható téma. Azonban a középiskolások átlagos válasza 4,1 volt az 5-ig tartó skálán, a felnőttek ugyanezt átlagosan 4,6-ra értékelték. Ezt többféleképpen magyarázható: egyrészt a fiatal diákok már általános iskola óta tanulnak a környezetvédelmi módszerekről (pl: szelektív szeméthyűjtés) és emiatt a megoldást is kézzel foghatóbbnak értelmezik, másrészt valószínűleg az eltérő életszemlélet miatt, ami a fiataloknál inkább a virtuális és szociális tevékenységeket jelentheti. Egyúttal egyfajta kritikát is tükröz a fiatalok hozzáállása az ezirányú oktatással szemben.

Mennyire fontos Neked a környezetvédelem?

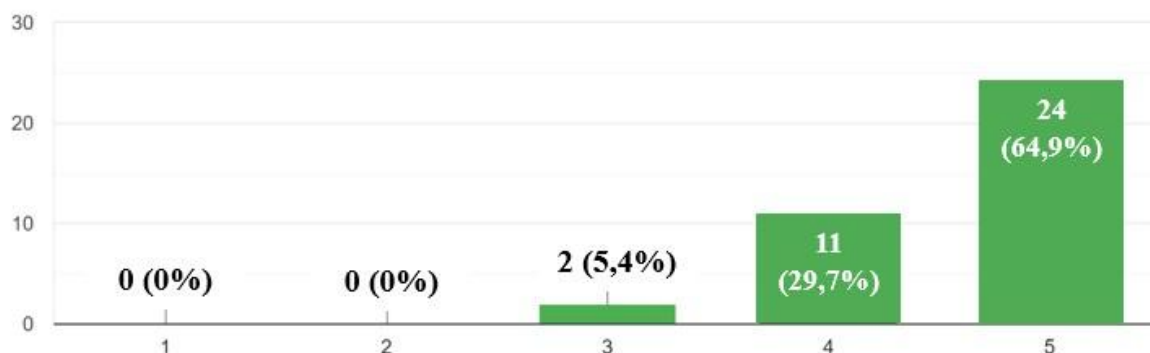
42 válasz



11. ábra Középiskolások válaszai 1-től 5-ig tartó skálán

Mennyire fontos Önnek a környezetvédelem?

37 válasz



12. ábra Felnőttek válaszai 1-től 5-ig tartó skálán.

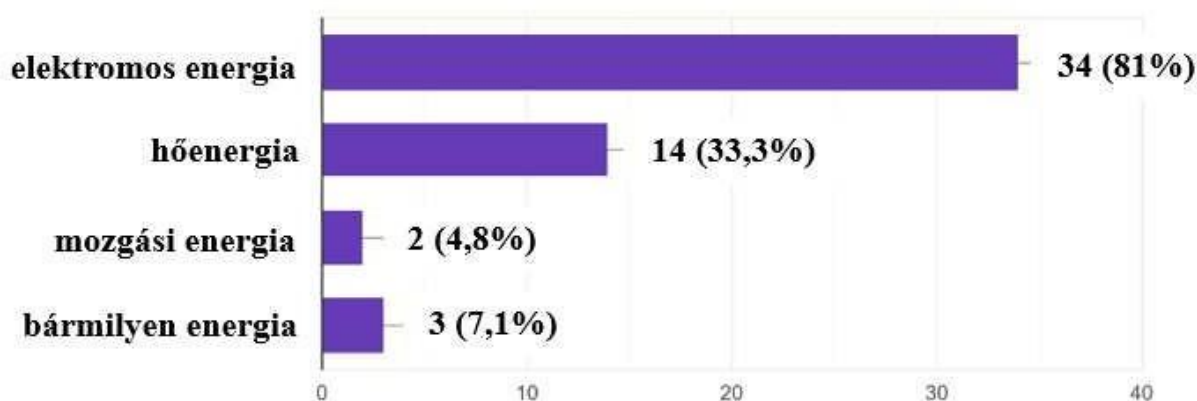
Forrás: saját eredmény (2024)

- Milyen energiát lehet előállítani közvetlenül napelemmel? (kiválasztás, akár több válasz megjelölésével)

A tájékozottságra irányuló kérdésben a korcsoportok között jelentős eltérés nem volt, a válaszoknál itt is lehetőség volt, hogy többet jelöljön meg helyesként egy személy és a 80% fölötti helyes válaszok számossága jó eredmény. A „hőenergia”, mint válasz sokakat megtévesztett, valószínűleg a Nap alapvető tulajdonsága és a napkollektorok működési elve miatt.

Milyen energiát lehet előállítani közvetlenül napelemmel?

42 válasz



13. ábra Középiskolások válaszai

Forrás: saját eredmény (2024)



14. ábra Felnőttek válaszai

Forrás: saját eredmény (2024)

- Az alábbiak közül melyik napelem? (itt két ábra közül választhatták, akár mindkettőt)

A szintén tájékozottságra vonatkozó kérdésben, mindenki felismerte a napelemet, de néhányan a napkollektorokat is megjelölték. Ennek számossága nem jelentős, csupán 5 db ilyen válasz érkezett, vagyis a kétfajta, tájékozottságot vizsgáló kérdés megerősítette a tájékozottságra vonatkozó válaszok megbízhatóságát. A 8. ábrán látható a két opció, amiből a megkérdezetteknek választania lehetett.

- Telepítenél-e napelemet a házatok tetejére? (Igen/Nem/Talán)

Ezt a kérdést azok tettük fel, akiknek jelenleg nincs napelem az ingatlanán, és alacsony számú (5 db) „Nem” válasz érkezett, az „Igen” válaszok 62,5%-ot tettek ki, és összesen 21 db

„Talán” választ kaptunk. A „Talán” válaszok magas számosságában közrejátszhat, hogy az éves szaldójú energiaátvételi rendszer helyett jelenleg 5 Ft/kWh áron veszik át a többlettermelést, ami rosszabb pénzügyi feltételeket teremt.

Az alábbiak közül melyik napelem? *

☐ Opció: 1



☐ Opció: 2



15. ábra Az eredeti kérdésben szereplő képek

Forrás: saját szerkesztés

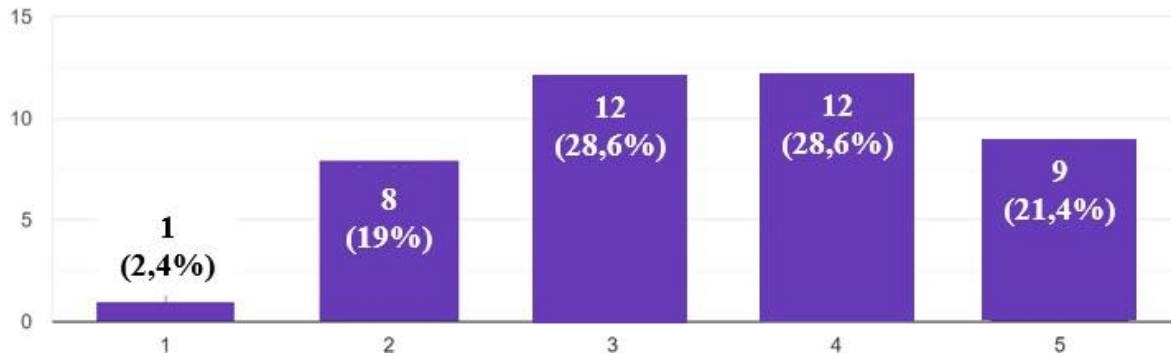
- Telepítenél-e napelemet a kertedbe? (Igen/Nem/Talán)

Az agrofotovoltaikához kapcsolódó kérdésre adott válaszokban a szkepticizmus erősen megjelent, csupán néhányan biztosak benne, hogy telepítenének napelemet a kertjükbe (15 fő), 36 fő utasítja el teljesen, a fentmaradó 31 válaszadó a „Talán” lehetőséget választotta, a két korcsoport közel azonosan értékelte a kérdést. Ez alátámasztja azt a vélekedést, hogy a napelemek elsődleges helye a háztetőn, vagy garázson van a lakosság szerint is. Ugyanakkor létezik egy olyan innovatív szegmens, amelyik hajlandó lenne kipróbálni a kertben is az APV alkalmazását, amennyiben ez nem jár hozamcsökkenéssel.

- Mennyire fontos Neked, hogy otthon legyen előállítva a felhasználásra kerülő energia? Az energialiberalizációra irányuló kérdésben már jobban megfigyelhető volt a korcsoportok eltérő véleménye: míg a felnőttek átlagosan 3,70-re értékelték az energia otthoni előállítását, addig a fiataloknál ez csupán 3,47-et ért el. Ez magyarázható a globális politikai és gazdasági helyzet különböző mélységű és beállítottságú érzékelésével.

Mennyire fontos Neked, hogy otthon legyen előállítva a felhasználásra kerülő energia?

42 válasz

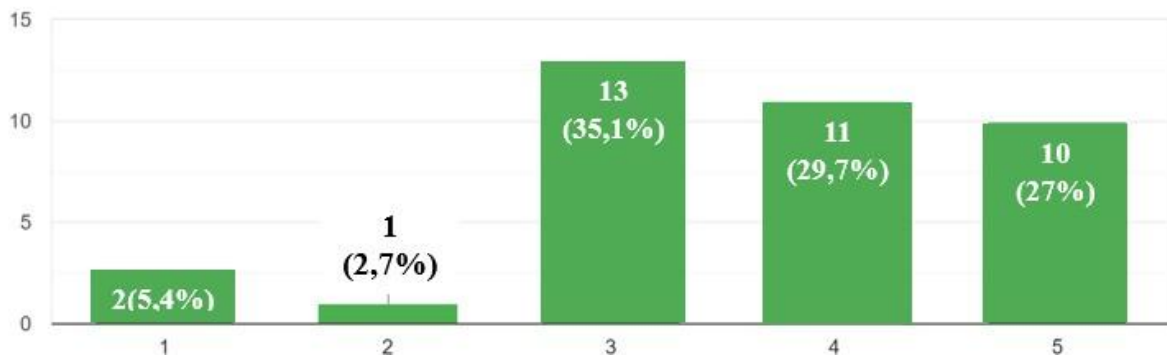


16. ábra Középiskolások válaszai

Forrás: saját eredmény (2024)

Mennyire fontos Önnek, hogy otthon legyen előállítva a felhasználásra kerülő energia?

37 válasz



17. ábra Felnőttek válaszai

Forrás: saját eredmény (2024).

- Mennyire tartja működőképes, társadalom által elfogadható technológiának az agrofotovoltaikát? (Válaszában kérem, hogy mind a vizuális megjelenést, hasznosítási lehetőségét, környezetvédelmi törekvését, stb. vegye figyelembe) (skálás válasz)

Az erre a kérdésre adott válaszok hasonlóan alakultak a fiatalok és a felnőttek körében, és kifejezetten pozitívak voltak. Nem voltak jellemzőek a szélsőséges válaszok, a 10-es skálán senki sem értékelte 5-ösnél alacsonyabban és átlagosan 7,67-es válasz előremutatónak bizonyul a technológia társadalmi elfogadottsága kapcsán.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az agrofotovoltaikus rendszerek globális potenciáljának meghatározásakor azt találtuk, hogy a világszintű termőterület kb. 1/3-ának napelemekkel való lefedése az éves globális energiafogyasztásunk több, mint hétszeresének megfelelő mennyiséget lennének képesek termelni globálisan, az elméleti potenciál szerint pedig Magyarország majdnem hatszorosát tudná megtermelni az éves fogyasztásának, ha a jelenlegi szántó, konyhakert (egy része), gyümölcsös, és gyepterületekre APV-rendszert telepítenénk. Az éves energiafogyasztásunk biztosítására, mintegy 1 millió ha területet kellene kettős hasznosításba vonni. Ez a szántóink 1/4 részét jelentené, és beruházási költségben ~247 120 milliárd Ft lenne, ami az országos GDP több mint háromszorosát jelentené. Mivel ez nyilvánvalóan nem kivitelezhető sokkal logikusabb az APV rendszerek kisebb mértékű integrációja, főleg, amíg a technológia kutatási fázisban van. A törvényhozásnak érdemes lehet az agrárinnovációk ezirányú pénzügyi támogatását megfontolnia, ami a gazdák kockázatvállalási hajlandóságát is pozitívan befolyásolhatja, hiszen így egy újabb típusú energia előállítására alkalmas technológia kerülne a hazai energiamixbe.

A bibliometrikus elemzésbe bevont 259 db publikáció kapcsán 3 nagy témaegység rajzolódott ki. Bár a témának mind a növénytermesztési, mind az energiatermelési, mind a fenntarthatósági oldalát jelentős számú publikáció vizsgálja, a legnagyobb részarányt a téma kettős hasznosítási technikai oldala jelenti az összes megjelent tanulmányt vizsgálva, jelenleg pedig a pénzügyi jellegű kutatások a meghatározóak. A témában legjelentősebb országok vizsgálatakor az Egyesült Államok, Franciaország, Dél-Korea, Kína és Németország. A 10 leginkább témával foglalkozó folyóirat pontosan ugyanaz maradt, mint 2 évvel ezelőtt. Minden folyóirat megjelent cikkeinek száma nőtt és csak belső átrendeződés történt. A jelenlegiek alapján legjobban teljesítő „Agronomy” a 3. helyről az 1. helyre került a 19 APV-témában megjelent cikkel 2011 óta. Az agrofotovoltaikus (APV) rendszerek fejlődését vizsgáló kettő korábbi tanulmány összehasonlításában vizsgáltam, és kiderült, hogy ezek a rendszerek egyre növekvő érdeklődést váltanak ki mind a mezőgazdaság, mind az energiatermelés területén kutatók körében. A 2022-ben megjelent tanulmány 98 dokumentum elemzésével készült, és legfőbb fókusza az APV rendszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatára és a különböző méretű konkrét erőművek elemzésére irányul. A 2023 januárjában publikált második tanulmány bibliometrikus elemzést nyújt az APV rendszerekkel kapcsolatos 121 dokumentum alapján, részletes kulcsszó-alapú keresés alapján. A kulcsszavak, mint például az „agrivoltaic,”

„agrophotovoltaic” vagy „solar farming” segítik a tanulmány készítőit abban, hogy világos képet adjanak a technológiai fejlesztések irányáról és globális kutatási trendekről, miközben az APV rendszerek többféle alkalmazási lehetőségét is azonosítják. A 2023-as kutatás megállapítja, hogy az APV rendszerek kutatási iránya a fenntartható mezőgazdaság és energiatermelés kettős céljának szolgálata. A 2024 októberében végzett saját bibliometrikus elemzésem már 259 dokumentumot vizsgál. A kulcsszó-beli eltérésen kívül a dokumentumok gyűjtésének időbeli eltérése a másik oka annak, hogy több, mint dupla annyi publikáció került az elemzésbe, ami jól mutatja, hogy az utóbbi időben felkapottabb lett a téma. A megjelent cikkek minőségi megítélése szempontjából fontos volt a folyóiratok vizsgálata, többségük Q1 rangsorolást kapott, ami azt jelenti, hogy a téma a legmagasabb szintű folyóiratok számára is érdekes. A témával foglalkozó 2 leginkább kiemelkedő ország az USA és Németország, vagyis a vizsgált adatbázis folyóiratainak figyelemre méltó része készült ezen két ország bekapcsolódásával. Ami érdekes, hogy a két fő pólus nem közvetlenül egymás mellett helyezkedik el, így feltételezhető, hogy van együttműködés Németország és az Egyesült Államok között a kutatások során, de jellemzőbb, hogy egyikhez vagy másikkhoz csatlakozik be egy 3. ország publikálója, amikor az agrofotovoltaika témaköréről ír. Az internacionális kapcsolatok és közös kutatási projektek hasznosak lehetnének a hazai agrár és energiagazdálkodással foglalkozó szervezeteknek, ennek az egyetemnek – különösen az agrárszektorral kiemelkedően foglalkozó Debreceni Egyetem – hatékony katalizátora lehet, így az ilyen típusú együttműködések hosszútávú tervezése és finanszírozása megfontolandó.

A debreceni napelempark éves üzemeltetési költsége tízmillió forintos nagyságrendű, ami a panelek tisztítását, a gyomirtást és az üzemzavarok elhárítását foglalja magában. A panelek tisztítása speciális eszközöket igényel, mivel a természetes csapadék nem elegendő a szennyeződések eltávolítására, amelyek árnyékolással csökkenthetik a hatékonyságot. Évente háromszori gyomirtás mellett új növénykeverékek telepítésével is kísérleteznek a gyomosodás visszaszorítására. Az energiaelosztást 24 panelenként egy inverter biztosítja, ezek élettartama 10–15 év. A rendszer szélállósága 20 m/s-ig garantált, de tornádószerű viharok korábban károkat okoztak. A telepítés során a talaj minősége is kihívás volt, a laza talaj mélyebb alapozást, a köves talaj pedig nehezebb fúrást igényelt. Társadalmi szempontból a telepítést a helyi közösségekben időnként ellenállás kíséri, amely rongálás kockázatát is hordozza. A napelempark üzemeltetője maga is nyitott a megkeresésekre és innovatív javaslatokra, így a jövőben érdemes lehet a gyakorlati

alkalmazás korai szakaszában együttműködni a piaci szereplőkkel. A közvéleménykutatásból kiderül, hogy a megkérdezettek általános tájékozottsága magas a fotovoltaikus rendszerek kapcsán, és nagyrésztük telepítene ilyen rendszert a házára. Megosztóbb, hogy a kertbe is hajlandóak lennének-e ilyen rendszert elhelyezni a kertjükben is, de az agrofotovoltáikával kapcsolatos általános kérdésben a 10-es skálán kapott 7,67-es érték a társadalmi elfogadás irányába mutat, elsősorban a közösségi, illetve nagyüzemi méretű APV-beruházások esetében. Az energialiberalizációra irányuló kérdésben már jobban megfigyelhető volt a korcsoportok eltérő véleménye: míg a felnőttek átlagosan 3,70-re értékelték az energia otthoni előállítását, addig a fiataloknál ez csupán 3,47-et ért el egy ötfokozatú skálán. Ez magyarázható a globális politikai és gazdasági helyzet különböző érzékelésével. Mindezek azt mutatják, hogy az emberek elfogadóak az újító technológiákkal, de elsősorban a vállalati szektorban érdemes bevezetni, nem a magánszemélyeknél. A piaci szereplők kockázatának csökkentésével ösztönözhetőek lennének a technológia irányába: ez jelenthet garanciavállalást az állam részéről az energia és élelmiszerfelvásárlásra, hiszen az állam jelenleg is jelen van ezen a piacon, de előnyben részesítheti azokat, akik APV rendszerrel termelnek és termesztnek. Hasonlóan ösztönző lehet az adókedvezmény vagy pályázati támogatás. A piaci mechanizmusok olyan üzleti modellek kidolgozására fogják ösztönözni a kockázatvállalókat, amiben a pénzügyi megtérülés is megjelenik. Ebben akár olyan kreatív megoldásokkal is találkozhatunk majd, mint a légtérbérlet.

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom témája az agrofotovoltaikus (APV) rendszerekben rejlő potenciális lehetőségek és irányok vizsgálata. Az APV a fotovoltaikus (PV) technológia egy válfaja, tehát ötvözi az agrárgazdálkodást és a napelemes energiatermelést. Lényege, hogy a termőterületek kettős hasznosításával nagyobb hatékonyság legyen elérhető, és több jelenleg fontos kérdésre is alternatív megoldást biztosít, legyen az a termőföld-hasznosítás, vagy az egyre növekvő energiaigényünk. Kutatásom célja a tudományos trendek vizsgálata bibliometrikus elemzés segítségével, a téma elméleti potenciáljának vizsgálata, valamint egy kérdőíves felmérés segítségével annak elemzése, hogy mennyire nyitottak a válaszadók az APV technológia alkalmazására. Dolgozatom tartalmaz egy mélyinterjút is egy nagyüzemi méretű napelempark üzemeltetési szakemberével, amelynek adatait – a kérdőívekre kapott egyes válaszok felhasználásával együtt - a potenciálbecslésnél is felhasználtam.

A technológiával kapcsolatos publikálás a 2011-es évtől indul és azóta egyre több cikk jelenik meg az agrofotovoltaika vizsgálatában. A bibliometrikus vizsgálatom során a leggyakoribb kulcsszavakat használva a téma kapcsán végül 259 db publikációt vizsgáltam VOSviewer szoftverrel. Három fő témaegység rajzolódott ki. Az első klaszter leginkább a fenntarthatósággal – „sustainable agriculture”, „renewable energies” – foglalkozik, ebből a szemszögből közelíti meg a témát. A második témaegység a növény termesztési oldallal foglalkozik leginkább – „land use”, „farming”, „agriculture” -, a harmadik témaegység pedig mindezek kombinálására fókuszál – „photovoltaic agriculture”, „apv”, „dual land use”. Érdekes figyelembe venni, hogy az ábra közepén a „sustainability”, tehát fenntarthatóság szerepel, utalva arra, hogy a vizsgált kutatások középpontjában is ez a kulcsszó áll. A vizsgált cikkek majdnem ¼ része készült az USA-ban, de jelentős mértékben foglalkozik a témával Németország, Kína és Dél-Korea is.

Moreda et al. (2021) meghatározta, hogy a termőterület 32%-ának megfelelő mennyiségű napelem megemelt elhelyezése az a mennyiség, ami még nem ártalmas az alatta termesztett növények fejlődésének és elég jelentős mennyiségű áramot generál. Ezen irányadó szám igénybevételével határoztam meg az APV-rendszer globális és hazai potenciálját. A világszintű 4,8 milliárd ha mezőgazdasági terület APV integrációjával a jelenlegi népesség éves energiafogyasztásának több, mint hétszeresét lehetne biztosítani, a magyar termőterületekkel számolva pedig majdnem az országos energiafogyasztásunk mintegy hatszorosát lennének képesek megtermelni.

Akad viszont jónéhány korlátozó tényező, ami miatt mindez csak potenciál marad, és sokkal inkább APV-rendszer irányú ösztönzés, mint konkrét akcióterv a megfogalmazott lehetőség.

A napelemek legyártása is már önmagában egy szűkösségi kérdést vet fel, hiszen több ritkafémet is tartalmaznak, ezeket nagyrészt Kínában bányásszák. Miután 2023-ban több mint

130 milliárd dollárt fektetett be a napenergia-iparba, Kína 2023 és 2026 között a világ poliszilícium-, cella- és modulgyártási kapacitásának több mint 80%-át fogja birtokolni, ami szintén egy energiafüggőségi helyzethez vezet. Habár az elméleti potenciál részben magában foglalja a napos órákkal való számítást, ettől függetlenül nem szabad elfelejtenünk, hogy a szezonális nagyon erősen befolyásolja a napelemes rendszerek energiatermelését, az elraktározás pedig nehézkes. Az akkumulátorok csupán rövidebb időre képesek ezeket jelentős veszteségek nélkül kezelni, ezért lényeges a lakosságnál a háztetőkön megtermelt energia 24 órán belüli elhasználása. Bár nem lehetetlen, a villamosenergia-alapú gazdaság kiépítése, de hatalmas infrastrukturális terhet róna mind a lakosságra, vállalati és állami szereplőkre.

A hajdúnánási lakosság agrofotovoltaikus rendszerekhez való viszonyulását vizsgálva az derül ki, hogy többségük tájékozott a klasszikus PV-rendszerekkel kapcsolatban. Akik rendelkeznek napelemmel otthonukban, azok pedig elégedettek és közülük páran (15 fő a 82 válaszadóból) akár a kertükben való telepítést (APV) is megfontolnák. Az agrofotovoltaikával kapcsolatos általános kérdésben a 10-es skálán kapott 7,67-es érték a társadalmi elfogadás irányába mutat, elsősorban a közösségi, illetve nagyüzemi méretű APV-beruházások esetében. Jövőbeni kutatásaimat elsősorban a téma gazdasági, illetve szabályozási vonatkozásában szándékozom majd továbbfejleszteni. Eddigi eredményeim hasznosak lehetnek ezek megalapozásához, valamint a jövőben várható elterjedés becsléséhez, ennek szabályozásához is.

IRODALOMJEGYZÉK

1. **Al Mamun, M.A., Dargusch, P., Wadley, D., Zulkarnain, N.A. and Aziz, A.A., 2022.** A review of research on agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, p.112351. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>
2. **Chalgynbayeva, A., Gabnai, Z., Lengyel, P., Pestisha, A. and Bai, A., 2023.** Worldwide research trends in agrivoltaic systems—a bibliometric review. *Energies*, 16(2), p.611. [Online] Available at: <https://doi.org/10.3390/en16020611>
3. **Chalgynbayeva, A., Mizik, T. and Bai, A., 2022.** Cost–benefit analysis of Kaposvár solar photovoltaic park considering agrivoltaic systems. *Clean Technologies*, 4(4), pp.1054–1070. [Online] Available at: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040064>
4. **Clegg, S. and Mancarella, P., 2015.** Integrated modeling and assessment of the operational impact of power-to-gas (P2G) on electrical and gas transmission networks. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(4), pp.1234–1244.
5. **Fraunhofer ISE, 2022.** Agrivoltaics at Kressbronn. [Online] Available at: https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/integrated-photovoltaics/agrivoltaics/jcr:content/contentPar/sectioncomponent_1987169672/sectionPars [Accessed 19 August 2024].
6. **Fraunhofer ISE, 2022.** Heggelbach Agrivoltaic Research Project. [Online] Available at: https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/integrated-photovoltaics/agrivoltaics/jcr:content/contentPar/sectioncomponent_1987169672/sectionPars [Accessed 19 August 2024].
7. **Gonzalez-Gonzalez, J.J., Arenas-López, J.P. and Badaoui, M., 2024.** Advancing towards zero emissions: Integrating floating photovoltaic systems in hydroelectric power plant reservoirs. *Results in Engineering*, 23, p.102742. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102742>
8. **González-Pereira, B., Guerrero-Bote, V.P. and Moya-Anegón, F., 2010.** A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics*, 4(3), pp.379–391. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.03.002>
9. **Heldt, H. and Piechulla, B., 2021.** *Plant biochemistry*. 5th ed. London: Academic Press, p.753. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818631-2.00002-7>
10. **Henning, H.-M. and Bett, A., 2020.** *Fraunhofer ISE Annual Report 2019/2020*. Freiburg: Fraunhofer ISE, p.125. [Online] Available at: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2019-2020.pdf
11. **Hermann, W.A., 2006.** Quantifying global exergy resources. *Energy*, 31(12), pp.1685–1702. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.006>
12. **Hermelink, M.I., Maestrini, B. and de Ruijter, F.J., 2024.** Berry shade tolerance for agrivoltaics systems: A meta-analysis. *Scientia Horticulturae*, 330, p.113062. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113062>
13. **Hirsch, J.E., 2005.** An index to quantify an individual's scientific output. *arXiv preprint*. [Online] Available at: <http://arxiv.org/pdf/physics/0508025v2.pdf> [Accessed 30 October 2024].
14. **Honváriné Kalmár, V., 2018.** A tudományos teljesítmény mérése Hirsch-indexszel. *Statisztikai Szemle*, 95(2). [Online] Available at: <https://doi.org/10.20311/stat2017.02.hu0189>
15. **Irshad, A.S., Ludin, G.A., Masrur, H., Ahmadi, M., Yona, A., Mikhaylov, A., Krishnan, N. and Senjyu, T., 2023.** Optimization of grid-photovoltaic and battery hybrid system with most technically efficient PV technology after the performance analysis. *Renewable Energy*, 207, pp.714–730. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.062>
16. **KSH, 2024.** A magyarországi napenergia-kapacitások bővülése. [Online] Available at: https://www.ksh.hu/infografika/2024/napenergia_infografika_hu.pdf [Accessed 30 September 2024].
17. **KSH, 2024.** Átlagos fogyasztói árak havi bontásban (árak, szolgáltatások). [Online] Available at: https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html [Accessed 28 September 2024].
18. **KSH, 2024.** Villamosenergia-termelés, -fogyasztás és energiamérleg Magyarországon. [Online] Available at: https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0001.html [Accessed 30 October 2024].
19. **Lehoczki, Z., Barabás-Olasz, Z., Nagy, R. and Szalay, K., 2022.** Az agrofotovoltaikus rendszerek alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban. *Mezőgazdasági Technika*, July 2022. [Online] Available at: http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_2359/az_agrofotovoltaikus_rendszerek_alkalmazasi_lehetosegei_a_mezogazdasagban_22_07.pdf
20. **Pascaris, A.S., 2021.** Examining existing policy to inform a comprehensive legal framework for agrivoltaics in the U.S. *Energy Policy*, 159, p.112620. [Online] Available at:

- <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112620>
21. **UNITCONVERTERS, 2024.** [Online] Available at: <https://www.unitconverters.net/> [Accessed 30 October 2024].
 22. **Wafer World, 2024.** What Are Wafer-Based Solar Cells? [Online] Available at: <https://www.waferworld.com/post/what-are-wafer-based-solar-cells> [Accessed 12 September 2024].
 23. **Wagner, J., Bühner, C., Götz, S., Trommsdorff, M. and Jürkenbeck, K., 2024.** Factors influencing the willingness to use agrivoltaics: A quantitative study among German farmers. *Applied Energy*, 361, p.122934. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122934>
 24. **Wei, T., Zhang, Y., Zhang, Y., Miao, R., Kang, J. and Qi, H., 2024.** City-scale roof-top photovoltaic deployment planning. *Applied Energy*, 368, p.123461. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123461>
 25. **Wilkins, J. and Schoville, B.J., 2024.** Did climate change make Homo sapiens innovative, and if yes, how? Debated perspectives on the African Pleistocene record. *Quaternary Science Advances*, 14, p.100179. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100179>
 26. **Yang, Z. and Dunford, M., 2017.** City shrinkage in China: Scalar processes of urban and hukou population losses. *Regional Studies*, 52(8), pp.1111–1121. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1335865>

MELLÉKLETEK

A közvéleménykutatás során feltett kérdések listája

- Az Ön neme (Férfi/Nő)
- Az Ön életkora
- Hajdúnánási lakos-e? (eldöntendő kérdés)
- Mennyire fontos Neked/Önnek a környezetvédelem? (skálás válasz)
- Milyen energiát lehet előállítani közvetlenül napelemmel? (kiválasztás, akár több válasz megjelölésével)
- Az alábbiak közül melyik napelem? (itt két ábra közül választhatták, akár mindkettőt)
- Mennyire fontos Neked/Önnek, hogy otthon legyen előállítva a felhasználásra kerülő energia? (skálás válasz)
- Telepítenél-e napelemet a házatok tetejére? (Igen/Nem/Talán)
- Telepítenél-e napelemet a kertedbe? (Igen/Nem/Talán)
- Szívesen hallanál-e többet az alternatív energia előállítási lehetőségekről, és ha igen hol? (kiválasztás, akár több válasz megjelölésével)
- Mennyire tartja működőképes, társadalom által elfogadható technológiának az agrofotovoltaikát? (Válaszában kérem, hogy mind a vizuális megjelenést, hasznosítási lehetőségét, környezetvédelmi törekvését, stb. vegye figyelembe) (skálás válasz)

A mélyinterjú során feltett kérdések

- Mennyi területet foglal el a napelempark?
- Milyen szempontok voltak a terület kiválasztásánál?
- Hány napelem és inverter üzelemel a napelemparkban?
- Mekkora a napelempark energiatermelő képessége?
- Hová transzportálják a megtermelt energiát?
- Milyen arányúak a beruházásban a különböző egységek?
- Mennyi ideig tartott a napelempark megépítése?
- Milyen működési költségek merülnek fel?
- Milyen társadalmi problémákkal kerültek szembe a napelempark üzemeltetése kapcsán?

Üzemlátogatáson készült fényképek



18. ábra Napelempark

Forrás: saját fotó
(2024)



19. ábra Napelempark nyilvános információs táblája

Forrás: saját fotó (2024)



20. ábra Viharkárt szenvedett napelemek

Forrás: saját fotó (2024)