

SZAKDOLGOZAT

Kleizer Andrea

Energiagazdálkodási szakmérnök jelölt

**Gödöllő
2024**



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Energiagazdálkodási szakmérnök
Szakszakirányú továbbképzés

Agrofotovoltaikus rendszerek szántóföldi alkalmazhatóságának lehetőségei Magyarországon

Belső konzulens: Dr. Schrempf Norbert Attila
Egyetemi docens, Műszaki Intézet

Külső konzulens: dr. Novák László
Okleveles agrármérnök

Készítette: Kleizer Andrea
Neptun kód: JRH3ZE

Intézet: Műszaki Intézet
Tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

**MŰSZAKI INTÉZET -ENERGIAGAZDÁLKODÁSI SZAKMÉRNÖK SZAKIRÁNYÚ
TOVÁBBKÉPZÉS
SZAKDOLGOZAT**
feladatlap

Kleizer Andrea (JRH3ZE)

részére

A szakdolgozat címe: Agro-fotovoltaikus rendszerek szántóföldi alkalmazhatóságának lehetőségei Magyarországon

Feladatkiírás:

Magyarország villamosenergia termelésének rövid áttekintése: energiamérleg, energiamix, várható fogyasztási trend. Fotovoltaikus energiahasznosítás Magyarországon, távlati tervek az uniós célokkal, irányelvekkel összhangban. Szántóterületek nagyságának változása Magyarországon. A napelemparkok fajlagos területigénye. Az agro-fotovoltaikus rendszerek bemutatása: történeti áttekintés, az erőművek létesítésének magyarországi jogszabályi hátterének elemzése, a leendő szabályozás kapcsán felmerülő kérdések. Az agro-fotovoltaikus rendszerek alkalmazhatóságának lehetőségei szántóföldi növénytermesztés mellett, a mezőgazdasági művelés sajátosságai különböző konstrukciók esetén (gépi művelés, növénytermesztés, öntözés). Agro-fotovoltaikus rendszerek létesítéséhez kapcsolódó gazdasági számítások.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: *dr. Novák László, ügyvezető, Gazda Kontroll Kft.*

Belső konzulens: *Dr. Schrempf Norbert Attila, MATE, Műszaki Intézet*

Beadási határidő: 2024. 04. hó 22. nap


Gödöllő, 2024. 04. hó 20. nap

Jóváhagyom

Átvettem



(tanszékvezető)


(szakfelelős)


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024. 04. hó 20. nap


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Magyarország villamosenergia termelésének rövid áttekintése	5
2.1 Villamos energiamérleg és energiamix	5
2.2 Várható villamosenergia fogyasztás a közeljövőben.....	6
3. Fotovoltaikus energiahasznosítás Magyarországon.....	8
3.1 Történeti áttekintés	8
3.2 A napenergia hasznosításának távlati tervei Magyarországon az uniós célokkal, irányelvekkel összhangban	9
4. Szántóterületek nagyságának változása Magyarországon és a napelemparkok fajlagos területigénye.....	10
4.1 Magyarország mezőgazdasági adottságai.....	10
4.2 Napelemparkok fajlagos területi igénye	12
5. Az agrofotovoltaikus rendszerek ismertetése	14
5.1 Történeti áttekintés	14
5.2 A lehetséges konstrukciók fő jellemzőinek ismertetésére	15
5.3 Az agrofotovoltaikus rendszerek alkalmazhatóságának lehetőségei szántóföldi növénytermesztés mellett, a mezőgazdasági művelés sajátosságai különböző agrofotovoltaikus konstrukciók esetén	22
5.3.1 Növénytermesztés a sorok között, ill. a gépi művelés sajátosságai	22
5.3.2 Növénytermesztés az agrofotovoltaikus rendszer alatt	24
5.3.3 Növénytermesztés az agrofotovoltaikus rendszer között-esettanulmány	26
6. Az agrofotovoltaikus erőművek létesítésének magyarországi jogszabályi háttere, a leendő szabályozás kapcsán felmerülő kérdések áttekintése.....	30
6.1 Uniós stratégia az agrofotovoltaikus rendszerekre vonatkozóan.....	30
6.2 Agrofotovoltaikus erőművek létesítésének magyarországi jogszabályi háttere.....	30
6.2.1 A Földtörvény agrofotovoltaikus vonatkozásai	30
6.2.2 Termőföld tulajdoni viszonyok Magyarországon	32
6.2.3 Építményi jog	33
7. Különböző agrofotovoltaikus rendszerekhez kapcsolódó gazdasági vonatkozások ...	35
7.1 Beruházási költségek összehasonlítása az egyes agrofotovoltaikus rendszerek esetén..	35
7.2 Üzemeltetési költségek	39

7.3. Áramtermelés értékesítéséből származó árbevétel	39
8. Agrofotovoltaikus rendszerek területre vonatkoztatott teljesítmény- és energiasűrűsége, a lehetséges konstrukció típusok főbb műszaki paraméterei	41
8.1 Teljesítmény- és energiasűrűség értelmezése naperőműveknél	41
8.2. Magasított konstrukciójú agrofotovoltaikus rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége	43
8.3 Vertikálisan telepített, kelet-nyugati tájolású bifaciális elemekből álló napelemes rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége.....	44
8.4 Napkövető agrofotovoltaikus rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége	49
9. Következtetések, javaslatok.....	51
10. Összefoglalás	54
Irodalomjegyzék és hivatkozások	55

1. Bevezetés

Az áram félelmetes gyorsaságú világhódító útja az 1881-es párizsi világkiállítás után indult, ahol bemutatkozott az izzólámpa lenyűgöző találmánya. Az azóta eltelt nem egészen 150 év alatt az energiafelhasználás legelterjedtebb formája a villamosenergia lett szinte minden szektorban. A villamosenergia előállítás módja is nagy utat járt be az elmúlt másfél évszázadban, a korlátozottan rendelkezésre álló, fosszilis energiahordozókból előállított áramot a következő évtizedekben fokozatosan felváltja a megújuló energiaforrásokból előállított áram, melynél az előállítási források egy része bár csak korlátozottan áll rendelkezésre (nap, szél), az áram előállítása során nem kerülnek káros anyagok a légterbe, alkalmazásuk elősegíti az energiafüggetlenséget, előnyei mellett azonban más, korábban nem jelentkező kihívások elé is állítja az energiapiaci szereplőket, legfőképpen a hálózatüzemeltetőket. Az átállás ugyanis nem mehet az ellátásbiztonság rovására.

A megújuló energiaforrásokból előállított technológiák elterjedése és a villamosenergia piac utóbbi évtizedben elkezdődött decentralizációja lehetőséget nyithatnak akár a mezőgazdasági termelők számára is, hogy szabad, mezőgazdasági művelés alatt álló területre naperómű létesítésével és a megtermelt áram eladásával maguk is árampiaci szereplőkké váljanak, ráadásul ezt anélkül tehetik meg, hogy a földterületet a mezőgazdasági művelésből kivonják, a föld művelése -némi korlátokkal ugyan- de továbbra is folytatható, az agrofotovoltaikus rendszerek ugyanis pont ezt a célt szolgálják: egyazon területen párhuzamosan hasznosítható a Nap energiája növénytermesztésre és áramtermelésre, így minkét tevékenységből bevétel keletkezhet a gazdálkodónak.

Szakedolgozatomban a magyarországi mezőgazdasági termeléssel, ezen belül pedig szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozó vállalkozások részére próbálok egy a mezőgazdasági műveléssel párhuzamosan üzemeltethető, egyben alternatív bevételi forrást biztosító beruházási lehetőség, az agrofotovoltaikus erőművek létesítésének és üzemeltetésének a kérdéskörét körbejárni.

A gabonatermesztés terén az utóbbi években lezajló piaci folyamatok változásai, egyrészt az energiaválság következtében lezajlott input anyagok (vetőmag, növényvédőszer, műtrágyák) és üzemanyagok áremelkedései a gazdálkodók költségeinek jelentős növekedését vonták

maguk után, melyet a bevételi oldalról a gabona felvásárlási árak nem kompenzáltak, a termeléshez kötött támogatásokkal együtt is jelentősen csökkent a gazdálkodói tevékenység jövedelmezősége.

Az orosz-ukrán háború következményeként lezajló gabonakereskedelem piaci változásai miatt az országba szinte korlátlanul beáramló ukrán gabona olyan hazai árufelesleget generált, melynek eredményeképpen a gabonafélék felvásárlási árai a korábbi évekhez képest rendkívül alacsonyak lettek. A piaci elemzők hosszabb távra sem prognosztizálják a gabona felvásárlási árak nagyobb mértékű növekedést, a mezőgazdasági termelést ezen gazdasági feltételek mellett szükséges tervezni.

Fenti okok miatt célszerű lehet a mezőgazdasági termelőknek tevékenységük diverzifikálása, melyre reális alternatíva lehet a közeljövőben az agrofotovoltaikus rendszer (vagy másnéven agro-fotovoltaikus, agrovoltaiikus, agro-voltaiikus vagy agrivoltaiikus, rendszer, röviden agro-PV vagy agri-PV, A-PV), melynek során -ahogyan az a későbbi fejezetekben részletesen be lesz mutatva- a naperőmű létesítése és üzemeltetése a termőföldön történik és a termőföldön, legalábbis annak nagy részén továbbra mezőgazdasági tevékenység folyik (A. Goetzberger, A. Zastrow, 1982).

A megnevezést tekintve mivel a magyar Földvédelmi törvényben (2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről) (1) agrofotovoltaikus elnevezés szerepel kötőjel nélkül, a dolgozat során én is ezt a változatot vagy az A-PV rövidítést használom.

Az agrofotovoltaikus technológia egy viszonylag rövid múltú, azonban rendkívül dinamikusan fejlődő, innovatív alágazata a napenergia hasznosításának. Legfőbb előnye a föld kettős hasznosításából eredő hatékonyság, mely egyébként mindkét önálló ágazat (növénytermesztés, áramelőállítás napelemekkel) hatékonyságának részéről kompromisszumot igényel. Ha azonban a rendszer egészét nézzük, adott területegységre vetítve sokkal hatékonyabb termelést tehet lehetővé, mintha egy terület csak az egyik vagy csak a másik tevékenységgel lenne hasznosítva.

Az agrofotovoltaikus rendszerek létrehozása természetesen – ahogyan a szakdolgozat során kifejtésre is kerül- nem kizárólag a mezőgazdasági termelők, hanem más piaci szereplők számára is elérhető lehetőség lehet a jövőben, ehhez a jogszabályi háttér megteremtése Magyarországon részben már megtörtént, azonban a földterület kettős hasznosítása újfajta kihívásokkal szembesíti a szabályozó és a beruházó oldalt is.

2. Magyarország villamosenergia termelésének rövid áttekintése

2.1 Villamos energiamérleg és energiamix

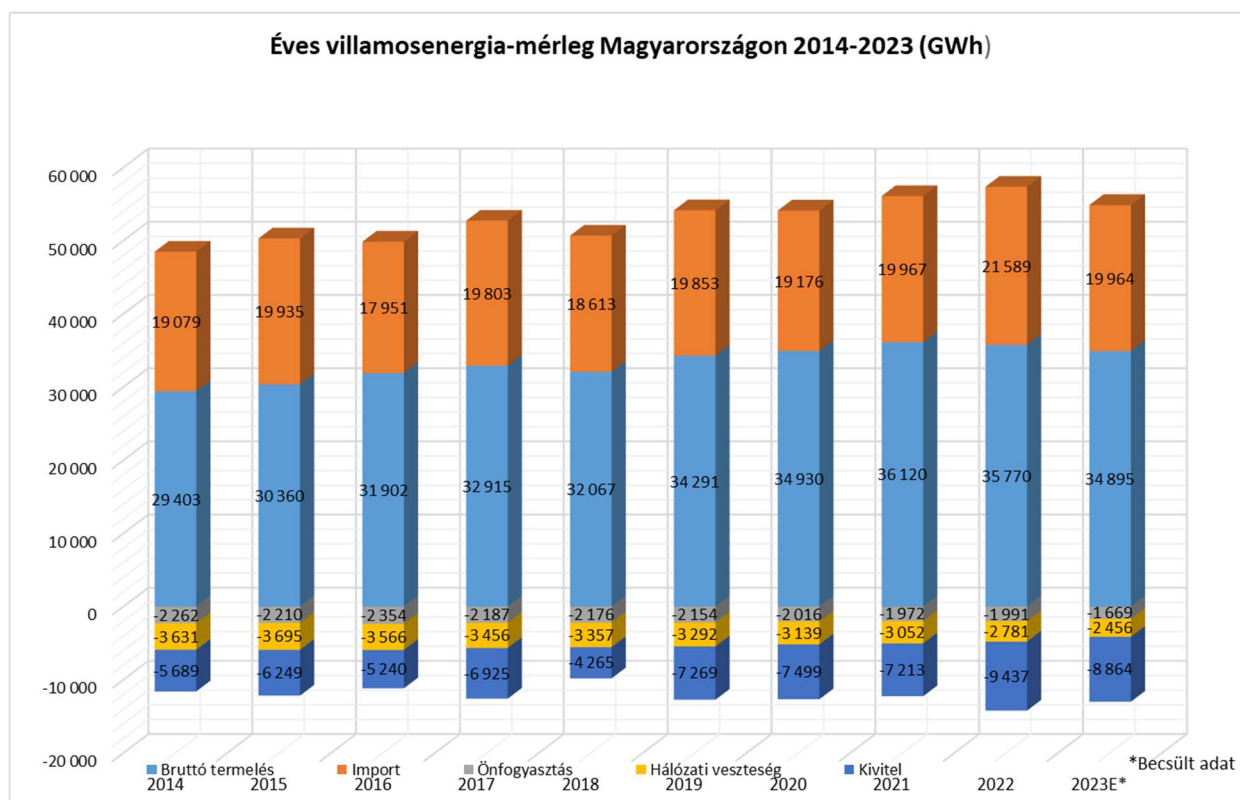
Magyarország utóbbi évek villamosenergia mérlegének áttekintése (1. ábra) után szembevető lehet a villamosenergia import aránya a csekély mértékű export mellett.

Évente ~20 000 GWh-val több villamosenergiát fogyasztunk, mint amennyit meg tudunk termelni, ebből következik, hogy import szaldós a villamosenergia gazdálkodásunk.

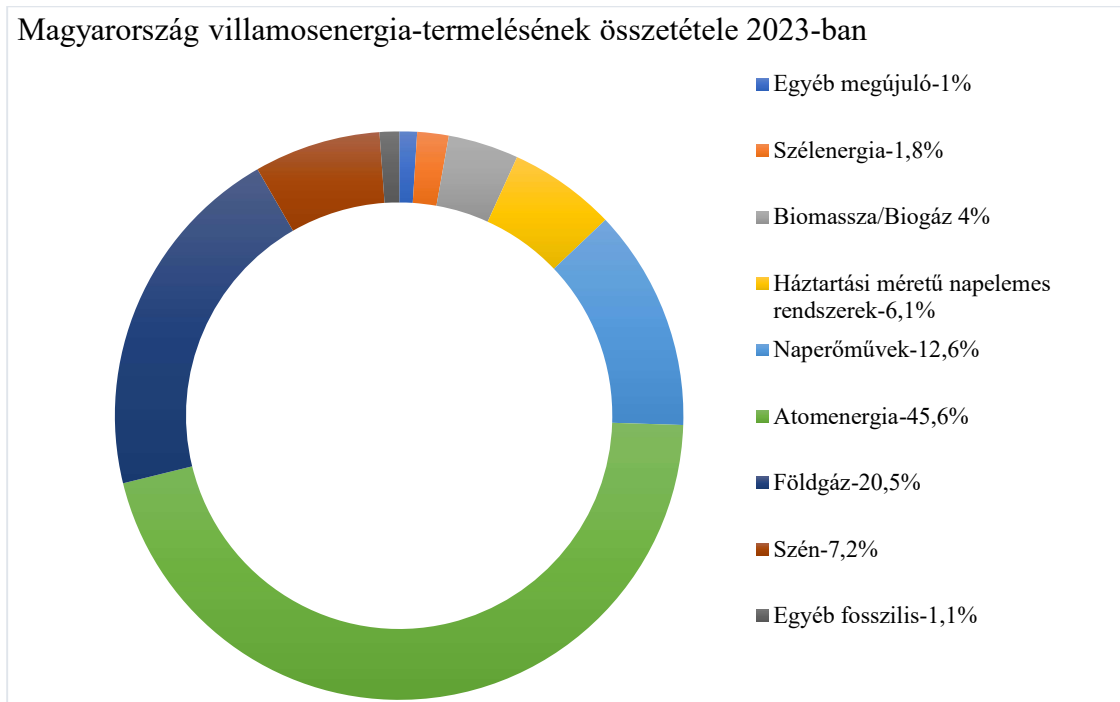
A 2. ábra a 2023-ban itthon termelt villamosenergia összetételét ábrázolja.

Az energiamixből kiragadva a földgáz 20,5%-os arányának tényét tovább árnyalja, hogy a felhasznált földgáz főként külföldről importált földgázból származik, illetve a paksi atomerőműben az áramtermeléshez felhasznált urán üzemanyag 100%-ban Oroszországból érkezik (forrás: MEKH.hu - 4.1 Országos villamosenergia-ellátás havi adatai), melyből arra a határozott következtetésre jutunk, hogy a magyar villamosenergia szektor erősen kitett az importnak. A néhány ezer GWh évi exportunk eltörpül az import nagyságrendek mellett.

1. ábra: Éves villamosenergia-mérleg Magyarországon (2014-2023). (Forrás: saját szerkesztés MEKH adatok (2) alapján)



2. ábra: Magyarország villamosenergia termelésének összetétele 2023-ban (Forrás: saját szerkesztés MEKH évközi adatok (3) összesítéséből)

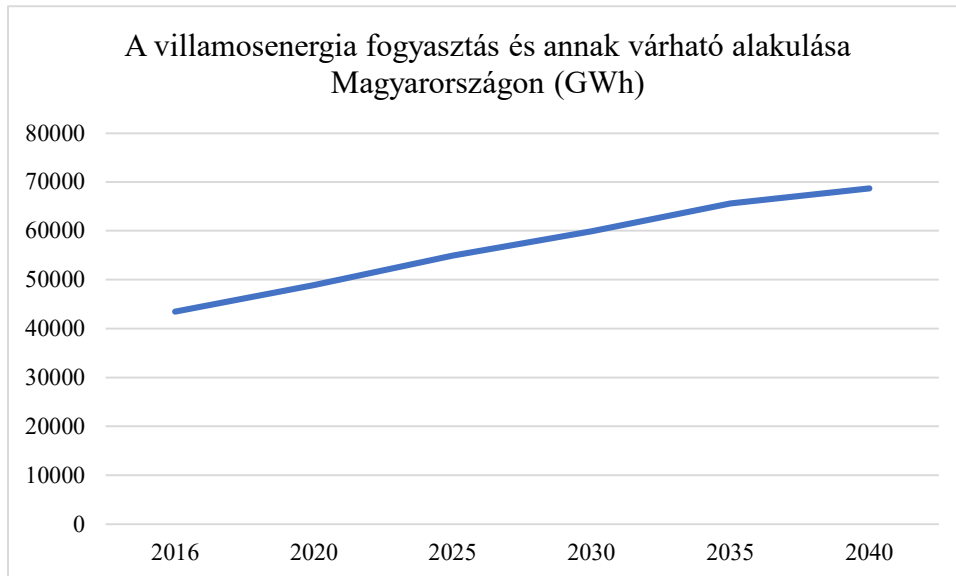


2.2 Várható villamosenergia fogyasztás a közeljövőben

A Technológiai és Innovációs Minisztérium által kiadott *Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig* (2020) c. kiadvány modellezési eredményei a villamosenergia-fogyasztás várható alakulásáról évente ~10%-os fogyasztásnövekedéssel számolnak (3. ábra).

Az Nemzeti Energia és Klímaterv (2023) úgy prognosztizál az energiamixet tekintve, hogy a fosszilis energiahordozókból történő villamosenergia-előállítás a következő évtizedekben várhatóan fokozatosan visszaszorul és helyét a megújuló energiatermelési módok veszik át, a nukleáris kapacitások fennmaradása mellett. A hazai megújuló energia potenciál nagyobb mértékű kiaknázása a villamosenergia import függőségének egyik csökkentési lehetősége, mely azonban az áramhálózatot időszakosan terheli, egyéb, korábban nem vagy kisebb mértékben jelentkező hálózatüzemeltetési problémákat is felvetve.

3. ábra: A villamosenergia fogyasztás és annak várható alakulása Magyarországon (Forrás: saját szerkesztés a Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig c. kiadvány 6.2 alfejezet 1. ábrájából)

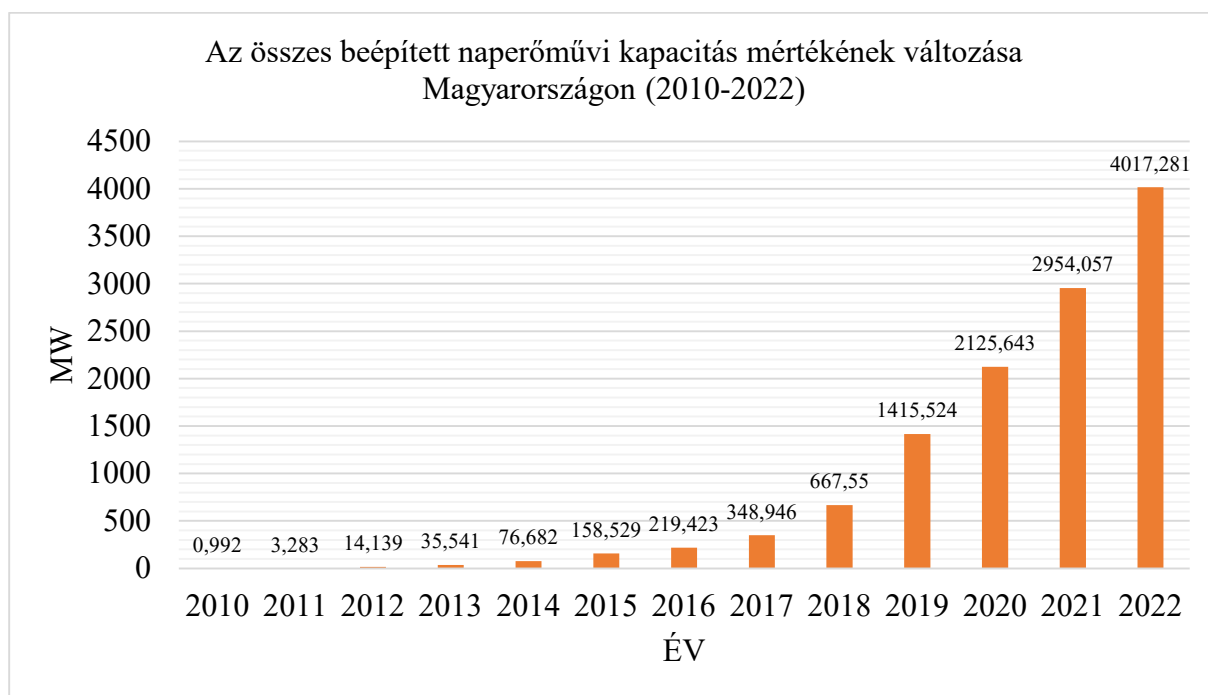


3. Fotovoltaikus energiahasznosítás Magyarországon

3.1 Történeti áttekintés

A MAVIR adatai alapján Magyarországon áramtermelésre az első napelemes rendszereket a 2010-es években állították üzembe, az elmúlt alig több, mint egy évtizedes időszakban a beépített kapacitás meghaladta a 4000 MV teljesítményt. A növekedés a 2010-es évek közepétől szinte exponenciálisnak mondható (4. ábra).

4. ábra: Az összes beépített naperőművi kapacitás mértékének változása Magyarországon (2010-2022) (Forrás: saját szerkesztés a MAVIR A MAGYAR VILLAMOSENERGIA-RENDSZER 2022. ÉVI ADATAI c. kiadvány 4. 9A táblájából)



3.2 A napenergia hasznosításának távlati tervei Magyarországon az uniós célokkal, irányelvekkel összhangban

A Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évi felülvizsgált változata 2030-ra 12 000 MV beépített napenergia kapacitással számol (2021-ben 2968 MV beépített kapacitás az Eurostat tényadat), mely stratégia az uniós REPowerEU (4) tervvel összhangban az orosz fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség megszüntetésére irányuló erőfeszítésnek a középpontjába a napenergiát tervezi állítani, csökkentve ezzel a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget lakossági és ipari felhasználás szintjén egyaránt. A stratégiai terv az egyik legversenyképesebb uniós villamosenergia-forrásként hivatkozik a napenergiából előállított villamos energiára, kiemeli annak megújuló voltát, mely munkahelyeket, új üzleti modelleket és induló vállalkozásokat teremt, valamint javaslatot tesz arra, hogy az egyes tagállamok a beépített kapacitás célszámait milyen intézkedések mellett tudják a legkönnyebben véghezvinni az engedélyezési eljárások lerövidítésével, egyszerűsítésével, finanszírozási és támogatási lehetőségekkel a napenergia berendezések telepítésnek felgyorsítására.

Az európai zöld megállapodásban (European Green Deal) (5) és az Európai Klímarendeleletben (6) megfogalmazott klímasemlegességi célok érdekében mind a 27 tagállam vállalta, hogy 2030-ig legalább 55%-kal csökkentik a károsanyag kibocsátást az 1990-es szinthez képest (távlati cél 2050-ig a klímasemlegesség elérése). Az „Irány az 55%!” intézkedéscsomag (7) az uniós gazdaság valamennyi ágazatát alkalmassá teszi e cél elérésére, hogy azok költséghatékony és versenyképes módon tudják megvalósítani éghajlat-politikai céljaikat. Ennek az intézkedéscsomagnak az egyik része a Megújulóenergia-irányelv, mely a megújuló energiaforrások használatának elterjedésére vonatkozó konkrét intézkedéseket tartalmaz.

4. Szántóterületek nagyságának változása Magyarországon és a naplemparkok fajlagos területigénye

4.1 Magyarország mezőgazdasági adottságai

A szántóföldi növénytermesztés elsődleges célja a megfelelő minőségű és mennyiségű élelmiszer- és takarmány-alapanyag előállítása, a szükséges készletszintek biztosítása. A megfelelő mennyiségű és minőségű alapanyag előállítását számos tényező befolyásolja.

Magyarország mezőgazdasági adottságai ideálisak az ország élelmiszeripari önellátására. Az ország domborzatát tekintve magas az alföldi jellegű területek aránya. A mintegy 93 000 km²-nyi terület több, mint fele mezőgazdasági művelésbe volt vonva az 1950-es évekig.

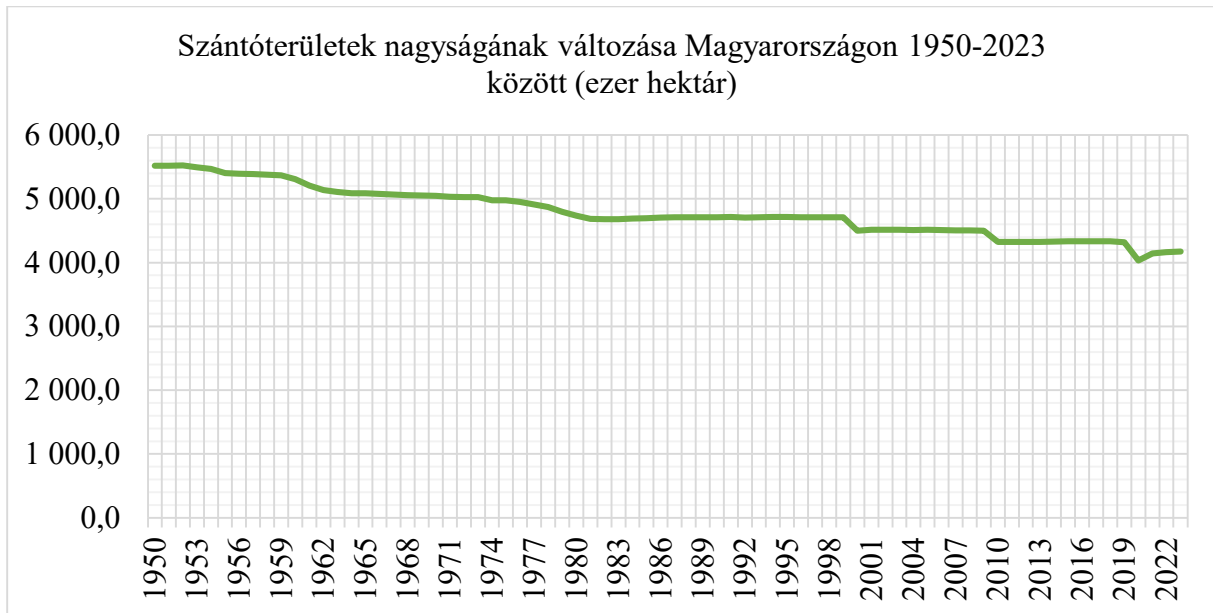
Hazánkban a termőtalaj általában jó minőségű, különösen a csernozjom talajok jó termőképességűek, de barna erdőtalajok is megfelelő termőerővel bírnak. A föld művelése nem csak az adott évi termelést szolgálja, hanem a talaj minőségének megőrzését is, a parlagon hagyott területeket egy idő után nehéz újra termelésbe vonni.

Az éghajlatot tekintve hazánk a száraz és nedves kontinentális éghajlat határán fekszik. A klímaváltozásnak Magyarország is ki van téve, az utóbbi években gyakrabban lépnek fel tartós hőhullámok, melyek aszályal párosulnak, különösen az Alföldön, emellett egyre gyakoribbak a nagyobb, hevesebb időjárási események (8).

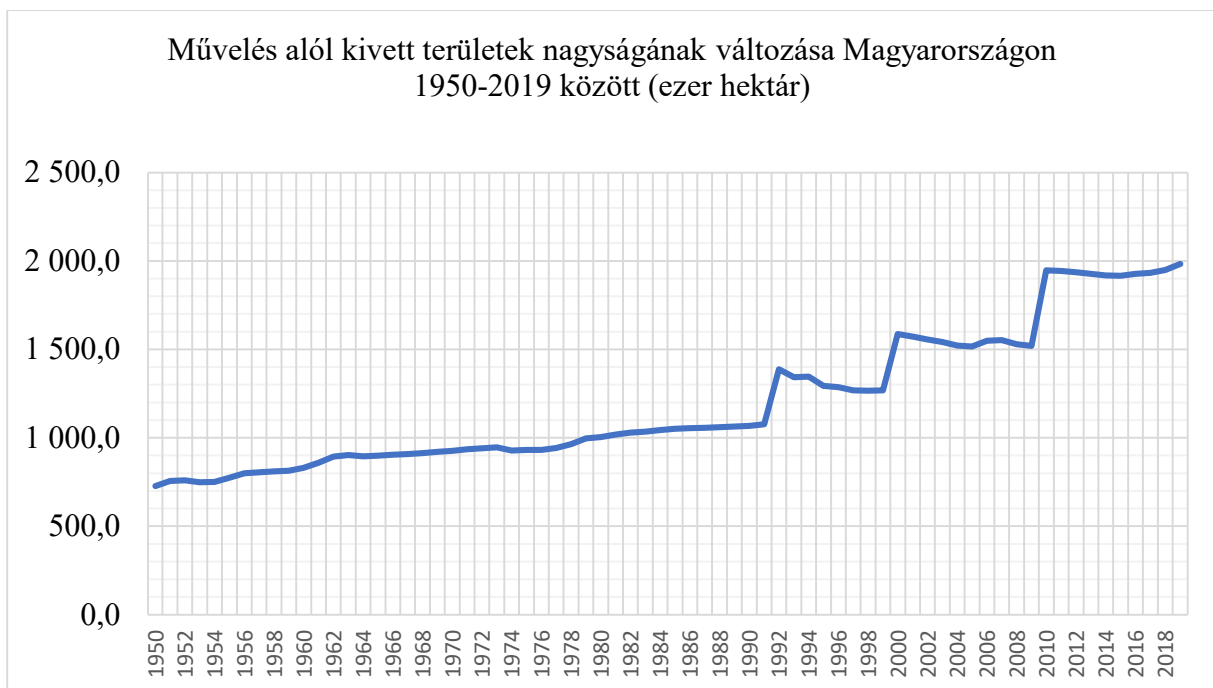
Nem kifejezetten üdítő érdekesség, hogy az egyébként kiváló adottságokhoz képest a mezőgazdaság (az erdőgazdálkodással és a halászáttal együttvéve) a bruttó hazai termék (GDP) rendkívül alacsony rátáját adja, a 2000-es évektől szinte soha nem haladta meg az 5%-ot (Forrás: KSH: 21.1.1.6. *A bruttó hozzáadott érték és megoszlása nemzetgazdasági áganként*) (9). Ez nagy valószínűséggel annak köszönhető, hogy a mezőgazdasági termékeink alacsony feldolgozottsági szinten hagyják el az országot.

Az 5. ábra a magyarországi szántóterületek nagyságának a változását ábrázolja az 1950-től 2023-ig. A csúcs az 1950-es években volt, ekkor az 5,6 millió hektárt is meghaladta szántóföldi művelésbe vont terület, az azóta eltelt több, mint 70 év alatt évente átlagban közel 20 000 hektár szántót vontak ki évente a művelés alól (6. ábra), ebben benne vannak úgy az ipari tevékenység, mind a közlekedés infrastruktúrájának a fejlesztése miatti művelésből való kivonások is. Természetesen ide kell sorolni a korábban szántóföldön megvalósított erdőtelepítések miatti művelési ág változásokat is, melyek az erdőterületek nagyságának arányát viszont növelték.

5. ábra: Szántóterületek nagyságának változása Magyarországon 1950-2023 között (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok (KSH: 19.1.1.8) (10) alapján)



6. ábra: Művelés alól kivett területek nagyságának változása Magyarországon 1950-2019 között (Forrás: saját szerkesztés KSH adatok (KSH: 19.1.1.8) (10) alapján)



4.2 Napelemparkok fajlagos területi igénye

Egy terület mezőgazdasági művelésből való kivonását akár egy napelempark létrehozásának a céljából az ingatlanügyi hatósággal kell engedélyeztetni, melynek során a föld korábban meghatározott, a földterület ingatlannyilvántartási lapján (tulajdoni lap) nyilvántartott aranykorona (AK) értéke után földvédelmi járulékot szükséges fizetni. Az ipari tevékenység, például egy ipari park létrehozásának szempontjából a terület lokációja, a rendelkezésre álló infrastruktúra a mérvadó, a naperőmű beruházásoknál pedig legfőképpen a közcélú hálózathoz való csatlakozási lehetőség és a hálózati kapacitások képeznek kiemelt szempontot, amennyiben az -tétélezzük fel- hálózatra termel áramot, de itt is szempont a felhasználási helyekhez minél közelebbi lokáció is, az áram szállítása során ugyanis veszteségek keletkeznek.

„A napelemparkok fajlagos kapacitásának területigényét főként környezeti – a napsugaras órák száma és a napsugarak átlagos beesési szöge –, valamint technológiai tényezők befolyásolják.”

„A hazai meglévő napelemparkok fajlagos területigénye ~2,4 hektár Megawattonként.”

Az fent idézett mondatok az Innovációs és Technológia Minisztérium megbízásából készült „**A hazai nagykereskedelmi villamosenergia-piac modellezése és ellátásbiztonsági elemzése 2030-ig különböző erőművi forgatókönyvek mellett**” (2019) című tanulmányból származnak, mely tanulmány nem tulajdonít különösebb jelentőséget a további tervezett beépített kapacitások megvalósítása esetén szükséges termőföldek művelésből való kivonásának, amellet, hogy természetesen számol a családi és társasházak tetejére szerelt háztartási méretű panelekkel, a meglévő kommunális és ipari épületekre szerelt kiserőművekkel, illetve az ipari területeken, barnamezős beruházással létrejövő (felhagyott bányaterületek, meddőközvet lerakók, salakdepóniák, zagyártározók, elbontott létesítmények területe) napelemparkok jövőbeni létesítésével is, melyek nem érintettek a mezőgazdasági művelésből való kivonás kérdésével.

Szintén a fent hivatkozott tanulmányból származik az alábbi bekezdés:

„Látható, hogy a PV összes területigénye várhatólag 7 ezer és 17 ezer hektár között alakul. Ez arányaiban eltörpül az ország területéhez, (9,3 millió ha) az összes termőterülethez (7,3 millió ha) vagy akár a mezőgazdasági területekhez (5,3 millió ha) képest. Még az összes szántóföldi

területnek sem éri el a 0,2 – 0,4 százalékát, a művelésből kivett (ipari létesítmények, utak, települések) összes területnek pedig nem éri el a 0,4 – 0,9 százalékát. A legkisebb összterületű művelési ág országosan a 'halastó', amelynek összes területe 37 ezer hektár. A PV fentiek szerint túlbecsült területfoglalása nem érné el az országban levő halastavak területfoglalásának 20 – 45 százalékát”

Mivel Magyarország a nyersanyagban és energiahordozókban egyébként szegény országok közé tartozik, véleményem szerint feltétlenül szükséges a szántóföldi területekkel való ésszerű és felelős gazdálkodás a jövőben is, így mindenképpen mérlegelni kell, hogy amennyiben egy mezőgazdasági művelés alatt álló, magas aranykorona értékkel bíró szántóföldi terület napelempark hasznosítás szempontjából ideális fekvésű, azaz a közcélú hálózat megfelelő távolságban van és a csatlakozási feltételek adottak, feltétlenül ki kell-e vonni azt a művelésből vagy adódnak-e alternatív lehetőségek arra, hogy a mezőgazdasági művelés továbbra is fennmaradjon, úgy, hogy emellett a napelempark is létrejöhessen. A fejezetben hivatkozott kiadvány például egyáltalán nem említi az agrofotovoltaikus rendszerek megvalósításának lehetőségét. Elképzelhetőnek tartom, hogy más lenne a megítélése a kérdésnek szerzők részéről is, amennyiben az agrár ágazat magasabb arányban hozzájárulna az ország GDP-jéhez. Ez a cél egyébként - a mezőgazdasági termékek értéknövelése a magasabb feldolgozottság által egyértelműen megjelenik az Agrárminisztérium által kiírt, piacot szabályozó intézkedések és a -részben- vissza nem térítendő beruházásra nyújtott és a jövőben nyújtandó vidékfejlesztési támogatások oldalán is, valamint kiemelt érdeket kell hogy képviseljen élelmiszer önellátás szempontjából. Továbbá nem szabad figyelmen kívül hagyni a tényt, hogy globálisan az ételmező népesség száma folyamatosan növekszik, a globális felmelegedés által nagy területek sivatagosodnak el (ebben Magyarország alföldi régiója is érintett), elgondolkodtató, hogy a világszinten az egy főre jutó termőföld 48%-kal csökkent 1961 és 2016 között a népesség növekedése miatt (11), így a mezőgazdasági művelésre alkalmas, jó termőhelyi adottságokkal bíró területeket ehhez mérten kellene kezelni Magyarországon is, mert ha egy másfajta érdek is megjelenik, az földhasználati versenyhez vezet és gazdasági, ökológiai, politikai és társadalmi konfliktusokat vetíthet előre a jövőre nézve.

5. Az agrofotovoltaikus rendszerek ismertetése

5.1 Történeti áttekintés

Az agrofotovoltaika koncepciója az 1980-as évek elejére nyúlik vissza, amikor Adolf Goetzberger német fizikus, a napenergia úttörője először javasolta a mezőgazdaság és a napenergia-termelés kombinálását a földhiány, az élelmezésbiztonság és a növekvő energiaigény kezelésére, ekkor kezdtek ugyanis ezek az aggodalmak napvilágra kerülni és ebben az időben kezdett a napenergia hasznosítása a fosszilis tüzelőanyagok életképes alternatívájaként megjelenni. Goetzberger az agrivoltaikával kapcsolatos első publikációját 1981-ben az *International Journal of Solar Energy* című folyóiratban, Armin Zastrow-val közösen írt cikkében jelentette meg. Az ezt követő időszakban az agrofotovoltaikával kapcsolatos kutatások és kísérletezések világszinten kezdtek elterjedni, melyek különféle konfigurációk és megközelítések kifejlesztéséhez vezettek, amelyek törekedtek maximalizálni az élelmiszer-termelés és a megújuló energiatermelés kombinálásának előnyeit. Az évek során az agrofotovoltaika ígéretes megoldássá fejlődött, amely a földhiány, az élelmezésbiztonság és az éghajlatváltozás sürgető problémáit komplex módon kezeli (12).

A fenntartható földhasználattal kapcsolatos kihívások megoldásának megközelítését a FAO is kidolgozta később az Integrált Élelmiszer-Energia Rendszerben (*Integrated Food-Energy System- IFES*) (13), amely ugyanazon a területen élelmiszer és energia egyidejű előállítását és az ebben rejlő potenciálok szinergikus hatásainak kiaknázási lehetőségeit fogalmazza meg háztartási és kereskedelmi méretekben egyaránt.

Adolf Goetzberger (1982) elmélete szerint egy agrovoltaikus rendszernek az alábbi kritériumoknak kell együttesen eleget tenni:

- A napenergia-termelést úgy kell integrálni a mezőgazdasági tevékenységekkel, hogy egyik tevékenység sem megy a másik rovására
- Az alkalmazott konfigurációnak optimalizálnia kell a földhasználat hatékonyságát azáltal, hogy maximalizálja az élelmiszertermelést és az energiatermelést ugyanazon a területen

- Az agrofotovoltaikus rendszer alkalmazása során mindenképpen szükséges előtérbe helyezni a fenntarthatóságot, minimalizálva a környezeti hatásokat (talajromlás, vízfogyasztás, biológiai sokféleség csökkenés)
- Az agrovoltaikus rendszernek szinergikus hatást kell mutatnia a mezőgazdaság és a napenergia-termelés között, és az egyes összetevők teljesítményén túlmutató előnyöket is biztosítania kell

Az agrofotovoltaika technológiája különösen az elmúlt években dinamikusan fejlődött a világ szinte minden régiójában. A Fraunhofer Intézet szerint a beépített kapacitás 2021-ben elérte a 14 GWp-et, ehhez szükség volt kormányzintű finanszírozási programokra is (Japán-2013; Kína-2014- Franciaország- 2017; USA- 2018- Dél-Korea-2013). Az első agrofotovoltaika témájú nemzetközi konferenciát Franciaországban 2020 augusztusában rendezték abból a célból, hogy összekapcsolja a tudományos közösségeket és előre mozdítsa az agrofotovoltaikus megvalósítások érdekében tett nagyobb erőfeszítéseket. A 2024. évi AgriVoltaics World Conference a coloradói Denverben lesz megtartva 2024. június 11-13. között.

Szükséges említést tenni arról, hogy agrofotovoltaikus technológiák nem kizárólag a szántóföldi növénytermesztésben, hanem a mezőgazdaság minden ágazatában megjelentek, lehetséges alternatívákat kínálva, így a szőlő- és gyümölcsstermesztés, a növényházi zöldség- és gyümölcsstermesztés, az állattenyésztés területén is találunk világszinten pozitív példákat az élelmiszer termelés és az áramtermelés együttes szinergiájára.

5.2 A lehetséges konstrukciók fő jellemzőinek ismertetésére

Az agrofotovoltaikus rendszerek csoportosítása technológia alapján

A csoportosítás a Német Szabványügyi Intézet (DIN SPEC 91434:2021-05) által 2021. májusában kiadott standard alapján (agrovoltaikus megnevezéssel) a következő:

„Az agrovoltaikus rendszereket két kategóriába sorolják (1. táblázat):

- agrovoltaikus rendszerek szabad magasságú beépítéssel (I. kategória)
- agrovoltaikus rendszerek talajszinti beépítéssel (II. kategória).

Mindkét kategóriába tartozó agrovoltaikus rendszert négy felhasználási kategóriára lehet osztani: (A) állandó és évelő növények, (B) egynyári és többéves növények, (C) kaszálásra szánt állandó gyepek és (D) legelőként használt állandó gyepek.

Az állandó kultúrák közé tartoznak a vetésciklusba nem integrált növények, amelyek legalább öt évig a földön maradnak és ismétlődő hozamot biztosítanak.

Az állandó legelő az állandó kultúrák mellett az olyan földterület is, amely legalább egy ideig nem része a vetésciklusnak és legfeljebb öt évig fű vagy más lágyszárú takarmány termesztésére használják. Az állattartás követelményeiben az állandó gyepek legelőhasználatával rendelkező mezőgazdasági rendszerek (1D és 2D típus) nem képezik ennek a dolgozat tárgyát.

Az agrovoltaikus rendszer földjét mezőgazdasági tevékenységre kell használni. A mezőgazdasági tevékenység magában foglalja a mezőgazdasági termékek előállítását vagy termesztését vagy a föld fenntartását jó mezőgazdasági (és ökológiai) állapotban az európai kölcsönös megfeleltetési szabályokban meghatározottak szerint az Európai unió és a vonatkozó nemzeti szabályoknak megfelelően.”

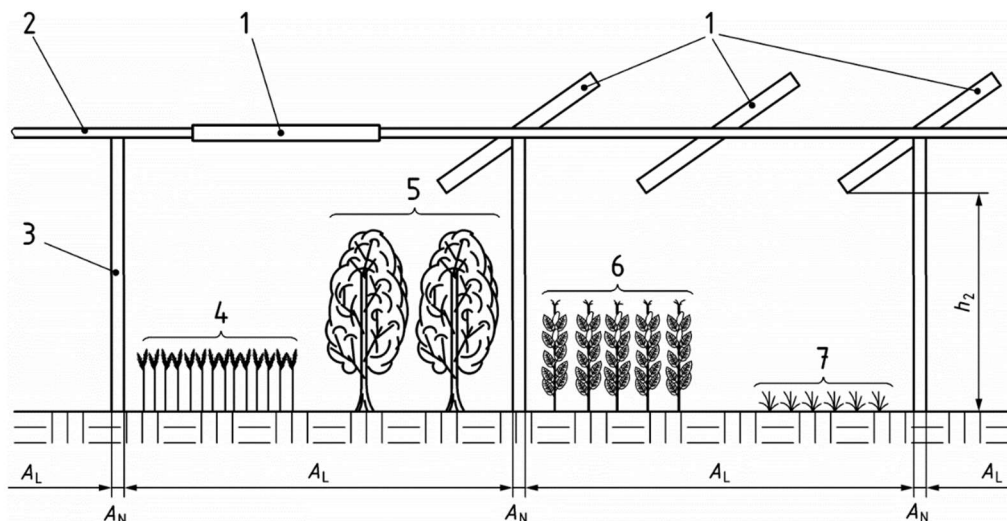
1. táblázat: Agrovoltaikus rendszerek csoportosítása (Forrás: DIN SPEC 91434:2021-05)

Agrovoltaikus rendszer	Mezőgazdasági hasznosítás	Példa
I. kategória: Magas telepítés Gazdálkodás az agrovoltaikus rendszer alatt (1.ábra)	1A: Állandó és évelő növények	Gyümölcsstermesztés, bogyós gyümölcsök, szőlő, komló
	1B: Egynyári és többéves növények	Szántóföldi növények, zöldségfélék, ideiglenes gyepek, szántóföldi takarmánynövények
	1C: Állandó gyepek kaszáláshoz	Intenzív mezőgazdasági gyepek, széles körben használt gyepterület
	1D: Legelőként használt állandó gyepek	Állandó legelő, szakaszoltan legeltetett terület (pl. szarvasmarha, baromfi, juhok, sertések és kecskék)

II. kategória: Földszinti beépítés Gazdálkodás az agrovoltaikus rendszer között sorokban (2.,3. és 4. ábra)	2 A: Állandó és élő növények	Gyümölcsstermesztés, bogyós gyümölcsök, szőlő, komló
	2 B: Egynyári és többéves növények	Szántóföldi növények, zöldségfélék, ideiglenes gyeplő, szántóföldi takarmánynövények
	2 C: Állandó gyeplő kaszáláshoz	Intenzív mezőgazdasági gyeplő, széles körben használt gyeplőterület
	3 D: Legelőként használt állandó gyeplő	Állandó legelő, szakaszoltan legeltetett terület (pl. szarvasmarha, baromfi, juhok, sertések és kecskék)

„Az I. kategóriájú agrovoltaikus rendszert (7. ábra) szabad magasságú beépítés jellemzi (legalább 2,10 m) és a rendszer szerinti mezőgazdasági használat. A napelem modulok felszerelhetők különböző szögekben és pozíciókban és részben vagy teljesen lefedhetik a mezőgazdaságilag hasznosítható területet (A_L). A mezőgazdasági szempontból használhatatlan terület (A_N) a létesítmény területére és a már nem elérhető területekre korlátozódik. A mezőgazdaságilag hasznosítható területen pedig a terveknek megfelelő mezőgazdasági művelés folyik.”

7. ábra – Az I. kategória ábrázolása (Forrás: DIN SPEC 91434:2021-05)



7. ábra -Jelmagyarázat:

A_L mezőgazdaságilag művelt terület

A_N mezőgazdasági szempontból nem művelt terület

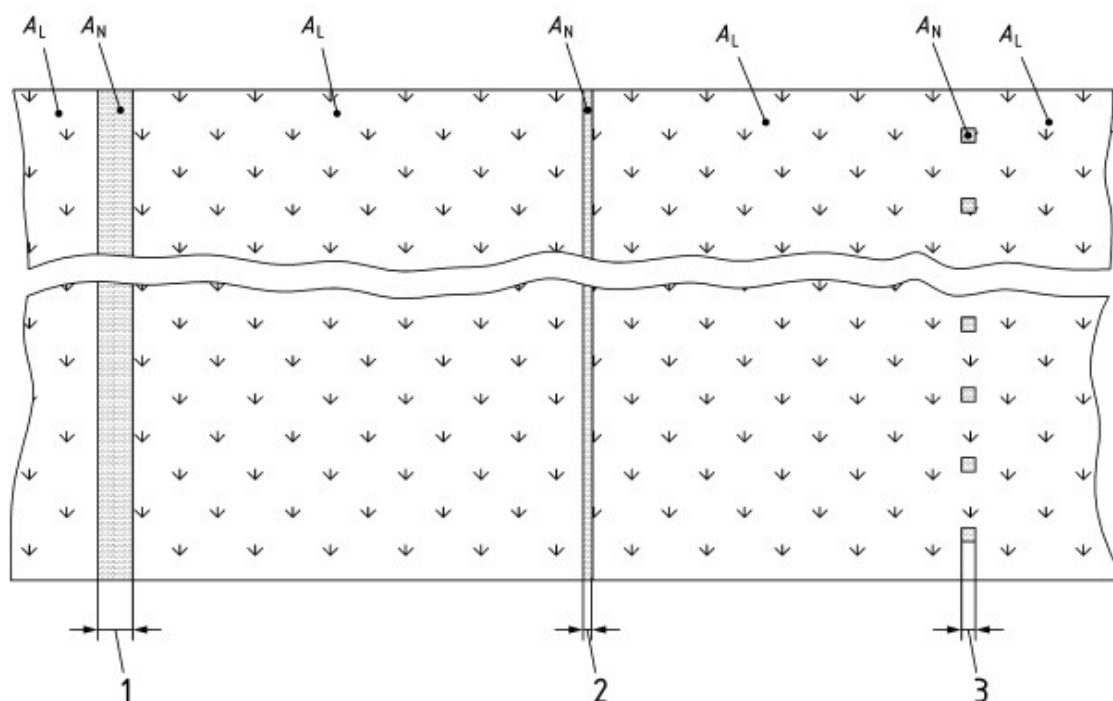
h_2 szabad magasság 2,10 m felett

1 napelemek

2 konzol

3 tartószerkezet

8. ábra – Különféle agrovoltaikus rendszerek felülnézete (Forrás: DIN SPEC 91434:2021-05)



8. ábra -Jelmagyarázat

A_L mezőgazdaságilag művelt terület

A_N mezőgazdasági szempontból nem művelt terület

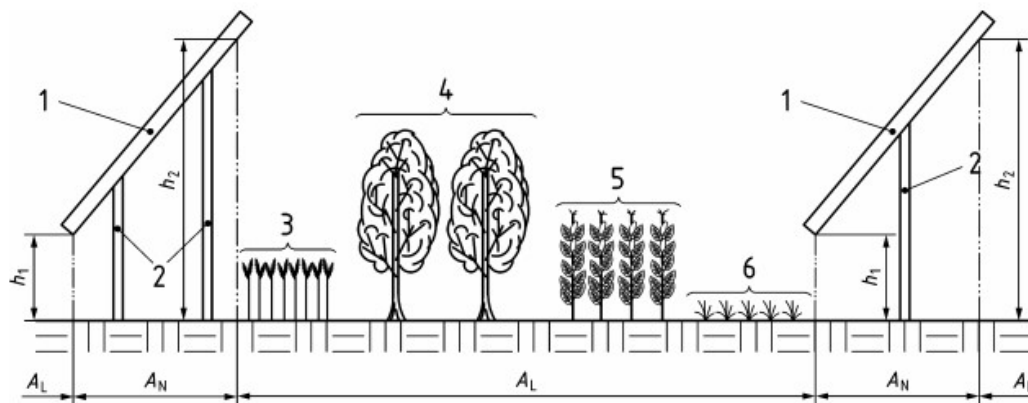
1 és 2 földközeli létesítmények (II. kategória) vagy magasan fekvő létesítmények (I. kategória) különböző szélességek és csak egy feldolgozási irány

3 magasított telepítés (I. kategória), minden iránybeli megművelhetőséggel

„A II. kategóriájú agrovoltaikus rendszerek olyan földre szerelt rendszerek, amelyekben a rendszersorok közötti terület (9. ábra és 10. ábra) mezőgazdasági művelés alatt áll. Itt különbséget teszünk az agrovoltaikus rendszerek között, amelyeken a napelem modulokat egy

vagy két állványra, meghatározott szögben állandóan felszerelik (9. ábra, 1. változat), és olyan agrovoltaikus rendszerekre, amelyekben a napelem modulok függőlegesen vagy állíthatóan (napkövető módon) állványra vannak szerelve (10. ábra, 2. változat). Elvileg a 2,10 m-nél kisebb szabad magasságú modulok alatti területrészek mezőgazdasági célra használhatatlan területnek minősülnek (A_N). Ha a mezőgazdasági művelési tervben az van meghatározva, hogy a 2,10 m szabad magasság alatti területet mezőgazdaságra is használják, és legalább 66 %-os terméshozam érhető el ezen a területen, akkor az A_N ennek megfelelően csökken. Minden egyéb, a mezőgazdasági használhatósághoz szükséges követelményt ezen a területen is teljesíteni kell a modulok keretében. Ha a technikai feltételek teljesülnek, akkor lehet gazdálkodni a tartószerkezetig.” A II. kategóriának, egy speciális változata a vertikális módon elhelyezett, bifaciális, azaz mindkét 2 oldalán termelő napelemes panelekből álló rendszer (11. ábra), mellyel annak speciálisabb volta miatt a következő fejezetben részletesen foglalkozok.

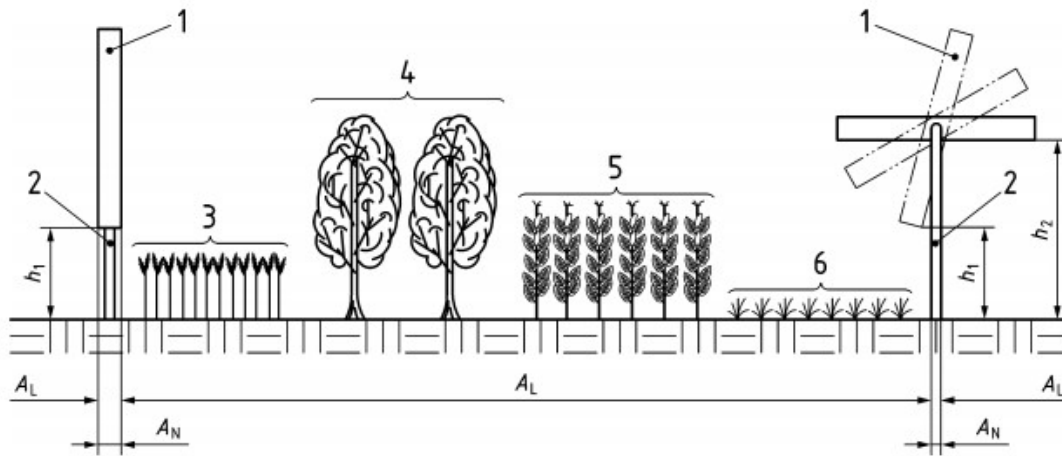
9. ábra – A II. kategória 1. változatának ábrázolása (Forrás: DIN SPEC 91434:2021-05)



9. ábra- Jelmagyarázat

- AL* mezőgazdaságilag művelt terület
- AN* mezőgazdasági szempontból nem művelt terület
- h1* szabad magasság 2,10 m alatt
- h2* szabad magasság 2,10 felett
- 1* napelemes panelek
- 2* tartószerkezet
- 3 -tól 6-ig példa természetű növényekre*

10. ábra – A II. kategória 2. változatának ábrázolása (Forrás: DIN SPEC 91434:2021-05)



10. ábra- Jelmagyarázat

AL mezőgazdaságilag művelt terület

AN mezőgazdasági szempontból nem művelt terület

h1 szabad magasság 2,10 m alatt

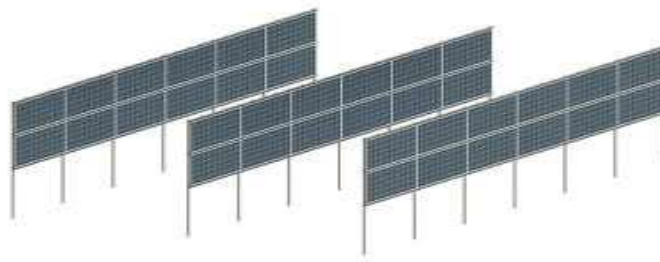
h2 szabad magasság 2,10 felett

1 napelemes panelek

2 tartószerkezet

3 -tól 6-ig példa termesztett növényekre

11. ábra: Vertikálisan elhelyezett napelem modulok. (Kép forrása: <https://www.enfsolar.com/pv/mounting-system-datasheet/8286>) (14)



A szántóföldi növénytermesztés szempontjából a fenti csoportosításból az I. kategóriából (Magas telepítés -Gazdálkodás az agrovoltaikus rendszer alatt) az 1. B, a II. kategóriából (Földszinti beépítés-Gazdálkodás az agrovoltaikus rendszer között sorokban) pedig a 2. B típust szükséges tárgyalni

Mindkét típusra megállapítható, hogy a napelemes modulok elhelyezési módtól és sűrűségtől függően bizonyos mértékű árnyékot biztosítanak a kultúrának, mely a fényigényes kultúráknak (gabonafélék, kukorica) hátrányt jelenthet és esetükben valószínűleg termés kieséssel szükséges számolni, bizonyos kultúráknak azonban, melyek kevésbé tolerálják a direkt besugárzást, kifejezetten előny jelenthet, különösen a meleg, száraz napokon, hogy a panelek védelme által kevésbé lehetnek kitéve a hőstressznek, a lomboszatuk napégésének, továbbá párolgási veszteségük is mérsékeltebb, ezáltal az öntözési igényük is csökkenthető.

Talajvédelmi szempontból fontos kérdése az AP-V rendszerek létesítésének a tartószerkezet lábazatának rögzítési módja, melyre 3 lehetséges opcióról találtam: talajcsavaros rögzítés, beton lábakba való rögzítés és létezik még ún. pókhorgonnyal („spinnanker”) való rögzítési technológia, melynél egy kör alakú korrózióálló öntöttvas horgonylemezhez menetes acél szálakat fűznek sugar irányban. A menetes acélrudak hossza a szerkezet terhelésétől függ. Elképzelhető, hogy a leendő szabályozás előírja vagy éppen kizárja valamelyik rögzítési mód használatát.

12. ábra: pókhorgonyos rögzítés. (Kép forrása: <https://www.wolfssystem.at/en-at/product-lines/industrial-and-commercial-construction/foundations/concrete-free-foundations>) (15)



5.3 Az agrofotovoltaikus rendszerek alkalmazhatóságának lehetőségei szántóföldi növénytermesztés mellett, a mezőgazdasági művelés sajátosságai különböző agrofotovoltaikus konstrukciók esetén

5.3.1 Növénytermesztés a sorok között, ill. a gépi művelés sajátosságai

Az előző alfejezet II. kategóriájú rendszerek telepítésénél 2 fő szempont alapján lehet szűkíteni az agrofotovoltaikus rendszerek működtetésével párhuzamosan termesztett szántóföldi növényeket: az első lehet a fentebb említett árnyéktűrés, a másik pedig a gépi megművelhetőség a talajelőkészítéstől kezdve a művelésen át egészen a betakarításig. További szempont a termesztendő növényállomány magassága, sorok közé telepített napelemes rendszer esetén a napelemes paneleket nem árnyékolhatja alulról, sem oldal irányból a növényzet, így annak magassága legfeljebb a panelek aljáig érhet, ezt a tervezés során mindenképpen szükséges mérlegelni. A fény kedvelő kultúrák termesztésél (pl. búza, árpa) bizonyosan terméshozam kieséssel kell számolni, az olyan kultúráknak viszont, melyek kevésbé tolerálják a direkt besugárzást, kifejezetten előnyt adhat a napelemes rendszer által oldal irányból nyújtott árnyék, mely akár a lombozat napégését is megakadályozhatja, illetve a talajnedvesség megőrzésének szempontjából is kedvező lehet. Ilyen növények lehetnek pl. a bab, a szója. A növénytermesztésnél bizonyos fokú hozamkiesés -bár a tisztán szántóföldi növénytermesztés szempontjából kedvezőtlen lehet, mert bevétel kieséssel járhat, ha azonban rendszer szinten nézzük, az áramtermelésből adódó bevétel kompenzálhatja ezt a kiesést, a kétféle termelésből adódó hozamokat (mezőgazdasági termény értékesítésből származó árbevétel + áramtermelés árbevétele) együttesen szükséges nézni. Másfajta problémát jelent, ha olyan mértékű a napelemes rendszer árnyékolása, hogy az adott növény egyáltalán nem hoz értékesíthető terményt, ebben az esetben a termesztés költségei veszteségként jelentkeznek, melyet azonban még mindig kompenzálhatnak legalább részben a területalapú támogatások.

A gépi megművelhetőségénél említendő szempontok közül az egyik legfontosabb lehet a munkaszélesség, mely limitálja a szabad földön korlátok nélkül alkalmazott agrotechnikai műveletek elvégzését ill. a hagyományos gépi műveléssel szemben csak a sorokkal párhuzamos irányú műveleti irányt enged (pl. bálázás után a felrakás során a rakodóval nem lehet oldalirányból megközelíteni és megemelni a bálát). A GPS-es sorvezető készülékek használatával ideális esetben akár néhány cm-es pontossággal lehet haladni az egyes sorokon, fizikailag is megakadályozva ezzel a naperőmű panelek sérülését. Nem szabad továbbá

figyelman kívül hagyni az egyes talajművelési műveletek vagy a betakarítás során a gépek kiporzását, mely a panelek szempontjából tisztítási igényt vonhat maga után, mely művelet időpontja, amennyiben az kultúrnövény termesztési időben történik, növénytermesztési károkat vonhat maga után, ellenkező esetben azonban a panelek áramtermelésének hatékonysága csökkenhet a felrakódott portól. A sorok végében szükséges továbbá a gépi fordulók területének biztosítására helyet hagyni, ezen kívül a földben futó kábeleket is legalább olyan mélyre kell fektetni (min. 100-120 cm), hogy a mezőgazdasági gépek, illetve az állatok se tudjanak hozzáférni, illetve a tartószerkezeteken vezetett DC kábeleket is a fizikai védelem mellett kell elhelyezni.

Összességében így a földre telepített napelem panelsorok közötti mezőgazdálkodás gépi műveletei mindenképpen nagyobb körültekintést igényelnek a hagyományos növénytermesztéshez képest.

Öntözés

A mezőgazdasági művelés szempontjából a gépi művelés mellett szükséges említést tenni a lehetséges öntözési módokról is, melyeket a napelemes modulok fix felépítményei némiképp szintén korlátoznak, legyen szó akár magas telepítésű, akár sorok közötti telepítésű agrofotovoltaikus rendszerről, azonban mivel különösen egyes zöldségkultúrák esetén elképzelhetetlen a termelés öntözés nélkül, mindenképpen számolni szükséges a termelés során az öntözési lehetőségekkel is a naperőmű 20-30 éves élettartama alatt.

Az öntözési módok közül, bármelyik agrofotovoltaikus koncepció esetén egyértelműen kizárható a center-pivot és lineár öntözőberendezésekkel végrehajtott esőztető öntözés, mivel a járókerekek mozgási igényét akadályozhatja a napelemes rendszer felépítménye, a vízágyús öntözést azért lehet elvetni, mert nem lehet egyértelműen kizárni magának a napelemes rendszernek az egyidejű öntözését a növényállomány mellett, bár a két öntözési mód egyébként sem mondható víztakarósnak, így nem feltétlenül veszteség ezen öntözési módok elhagyása. Helyettük lehet számolni egyrészt a sorok közé a földfelszínre fektetett csepegtető öntözőcsövekkel, amennyiben kapás növények termesztésére kerülne sor és a keskeny sortávokban is alkalmazható, öntöződobra szerelt konzolos öntözési módokkal.

5.3.2 Növénytermesztés az agrofotovoltaikus rendszer alatt

Míg a sorok közé telepített napelemes rendszerek magasságuktól függően az oldal irányból jövő reggeli és esti napfénytől árnyékolhatják a növényállományt, napelemes rendszer alatti termelésnél ez az árnyékoló hatás főként felülről, nagyobb beesési szögből jelentkezik a déli legmelegebb órák idején. Ezeknél a rendszereknél az egyik legfontosabb paramétere lehet a napelemes rendszereknek a panelek átlátszósága, mely a jelenleg a piacon elérhető termékeknél már 50% is lehet, így ezen rendszerek alá mindenképpen kifejezetten árnyéktűrő növények javasolhatók a gazdaságos termesztéshez, további kérdés a panelek elhelyezési sűrűsége. A felépítmény magassága itt a gépi művelhetőség szempontjából legalább 4-5 méter kell, hogy legyen, a tartószerkezet pedig szintén akadályozhatja a gépi megművelhetőséget, bár korántsem akkora mértékben, mint amikor a panelsorok között zajlik a mezőgazdasági művelés. A magasabb tartószerkezet miatt nagyobb anyagköltséggel is kell számolni ezen rendszerek telepítésekor. Ezeknek a rendszereknek intenzív gyümölcsstermesztés esetén is nagy létjogosultsága lehet, mivel a jégvédő háló és esetenként a gyümölcsfa (pl. kordonos alma) támasztására egyébként is szoktak beton támrendszert telepíteni, mely támrendszer egyúttal a napelem modulok tartására is alkalmas lehet, a panelek árnyékoló hatása pedig itt kifejezetten kedvező is lehet a gyümölcsfélék számára.

Gabona termesztésére is vannak kísérletek napelemes rendszer alatti konstrukciónál, a lenti kép (13. ábra) a németországi Baden-Württemberg tartományban fekvő Heggelbach településen került kivitelezésre kísérleti projekt jelleggel a Fraunhofer Intézet által. A vizsgálati terület 2,5 hektáros. Ebből azonban csak 2500 m²-t fed le az APV kutatóintézet kísérleti napelemes rendszere, a fennmaradó terület pedig referenciaterületként szolgál a tesztidőszak szántóinak a terméshozamainak az összehasonlításához. Az agrofotovoltaikus rendszer tartószerkezetét 5 méteresre tervezték, erre helyezték fel a napelemes paneleket. A beépített 194,4 kWp teljesítmény 62 háztartást (4 fő, kb. 4000 kWh villamosenergia-fogyasztással számolva) képes ellátni évente. A modulsorok közötti nagyobb távolságok lehetővé teszik, hogy az alatta lévő növények a fotoszintetikusán aktív sugárzás legalább 60%-át megkapják.

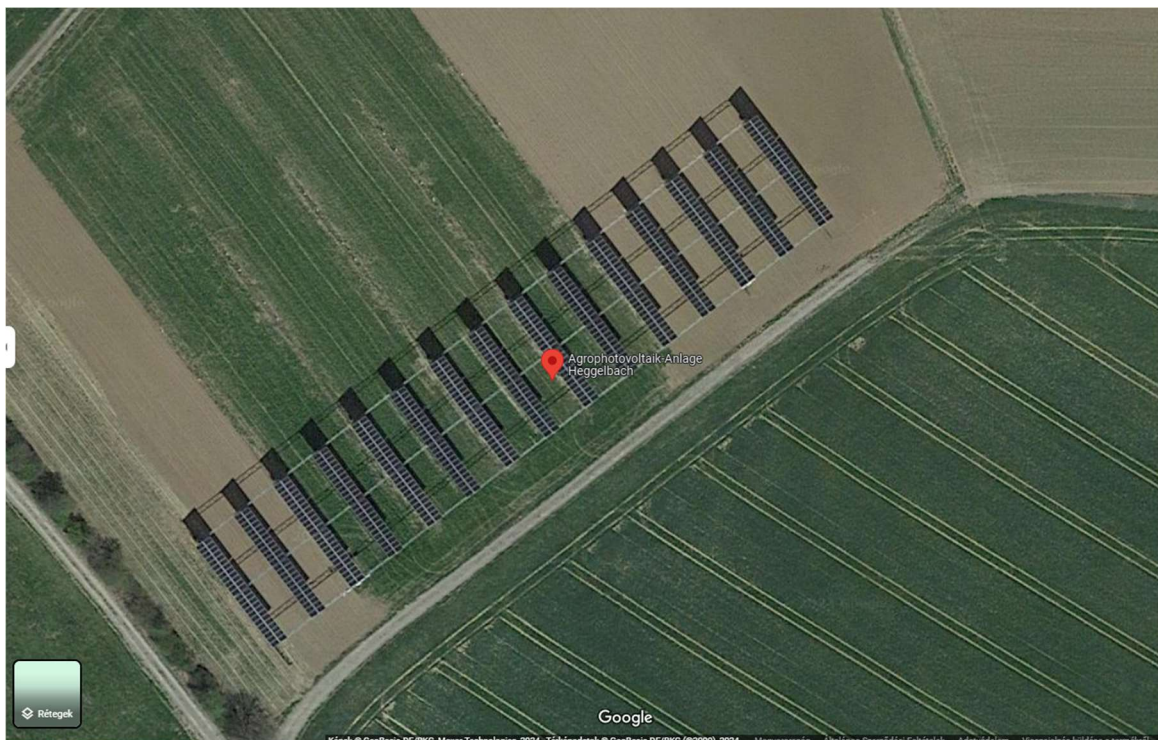
A heggelbachi kísérleti területen a következő növények termesztésével kísérleteztek: búza, füves lóhere, burgonya és zeller. A termésátlagok eredményét az aktuális évi időjárás nagyban befolyásolta és értékes konklúziókkal szolgált. A hozamkiesés a referenciaterületekhez képest egyik növénynél sem volt alacsonyabb 20%-nál, burgonya esetében ráadásul a 2018-as aszályos éven még mintegy 10%-os hozamtöbblet is termelt, igazolva ezzel a panelrendszer részbeni árnyékolása által biztosított kedvező mikroklimatikus viszonyokat és a lehetséges szinergia

hatást. A hozamkieséshez természetesen a műveletlen terület nagyságát is figyelembe kell venni.

13. ábra. A heggelbachi kísérleti agrofotovoltaikus rendszer (Kép forrása: <https://hofgemeinschaft-heggelbach.de/energie>) (16)



14. ábra. A heggelbachi kísérleti agrofotovoltaikus rendszer (Kép forrása: Google map)



5.3.3 Növénytermesztés az agrofotovoltaikus rendszer között-esettanulmány

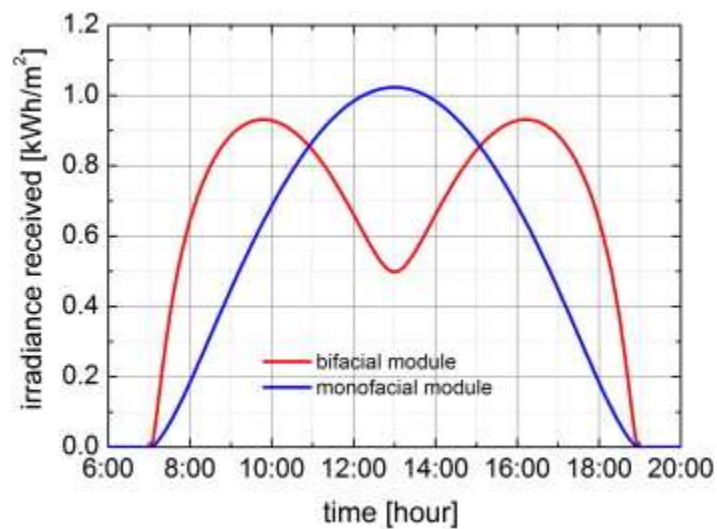
Josef Gründl, osztrák gazdálkodó a Graz melletti Gabersdorfban egy 5,1 hektáros területen valósított meg egy 2 soros, K-Nyi tájolású bifaciális napelemes panelekből álló, vertikális tájolású, 1,9 MW névleges teljesítményű napelemes rendszert (18) (15. ábra) (II. kategória 2 B rendszer az 1.számú táblázat alapján). A terület 90%-a továbbra is mezőgazdasági művelés alatt maradt, mely gazdasági szempontból is előnyként értelmezhető, így a mezőgazdasági termelésből származó hasznokkal a terület ezen részén továbbra is lehet tervezni, némileg csökkent mértékben természetesen. Mivel a sorok között szükséges biztosítani a mezőgazdasági gépek művelési lehetőségét, így a sortávolságot legalább 10 m-esre kellett tervezni, a mezőgazdasági művelés szempontjából ahogy már fentebb is említésre került a gépi járhatóság a leginkább limitáló tényező. A rendszer egyik nagy előnye viszont a K-Nyi tájolású bifaciális napelemes panelek áramtermelési jelleggörbéjéből adódik. A termelési görbe ugyanis két oldalról, valamint a földfelszínről is visszaverődő hasznosított beeső sugárzás (albedó) miatt a reggeli és a délutáni órákban mutat 2 kisebb csúcsot, szemben a déli tájolású 20-30 ° beesési szögű panelekkel (16. ábra). A napi áramfogyasztással ez a fajta termelés sokkal inkább összhangban van, ezért áramkereskedelmi szempontból előnyösebb -becslések szerint 5-10%-kal magasabb- felvásárlási áron értékesíthető a termelt áram, továbbá a hálózatot sem akkor terheli a termelés, amikor a hagyományos, déli tájolású, horizontális módon elhelyezett panelekkel rendelkező naperóművek termelnek a déli órákban. A rendelkezésre álló szabad kapacitások miatt a hálózatüzemeltető állítólag nem is adott volna engedélyt egy hasonló méretű, ám hagyományos termelési profillal rendelkező naperóműre. Amennyiben ugyanezen területen hagyományos módon kivitelezett naperóművet telepített volna, úgy a területet ki kellett volna teljesen vonni a mezőgazdasági művelés alól, amellet, hogy a terület karbantartása, a gyommentesítés egy a vegetációs időszakban rendszeresen fellépő, a kiadási oldalt terhelő munkát jelentene, ezt egyébként célszerűen is meg lehet oldani birkák legeltetésével, de onnan nem lehet számolni olyan mértékű bevétellel, mint amilyennel a párhuzamos növénytermesztés mellett lehet. Az 1. táblázat magasított, de horizontális módon elhelyezett napelemes panelekből álló eróművet fent említett hálózat terhelési problémák miatt kellett valószínű elvetni megvalósítási szempontból.

A bifaciális napelemek éves szinten egyébként akár 15-17%-kal több energiát termelhetnek, mint az ugyanolyan tájolással elhelyezett monofaciális napelemek. (A. Garrod, A. Ghosh, 2023).

15. ábra. Vertikálisan elhelyezett bifaciális panelekből álló napelemez rendszer Gabersdorfban (Kép forrása: <https://next2sun.com/en/next2sun-and-tep-renewables-push-agri-pv-expansion-in-the-uk-2/>) (19)



16. ábra: mono- és bifaciális panelek napi termelési görbéjének összehasonlítása (Forrás: A. Garrod, A. Ghosh (2023))



A felépítmény menti sávok hasznosítása agrofotovoltaikus sorok közötti mezőgazdasági művelés esetén

A felépítmények menti, ún. műveletlen sávok (8. ábra. 1. A_N mezőgazdasági szempontból nem művelt terület), melyek akár 1-1,2 m szélesre is hagyhatók, a növénytermesztés szempontjából nem kedvezőek, mivel azokat folyamatosan gyommentesen kell tartani, itt azonban a gépi művelés lehetőségei valóban korlátozottak, a gyümölcsstermesztésben használatos tőközművelő gépek (kultivátor, kasza) munkavégzésére nincs hely, mivel az a főnövény művelésének rovására menne. Célszerű lehet ezért ezeket a sávokat ún. ökológiai területként meghagyni és önmagát visszavető zöldtrágya- vagy takarónövény, akár ezek keverékével bevetni, melyet a szakirodalom (pl. Fraunhofer Intézet, VINCA Intézet kutatásai) különösen kedvezőnek tart a biodiverzitás növelésének szempontjából, továbbá méhlegelőként is szolgál. További előny lehet, hogy ezeket az ökológiai sávokat figyelembe lehet venni az Agrár Ökológiai Program (AÖP) Feltételeesség, nem termelési célú elemeként. (15/2023. (IV. 19.) AM rendelet az Agro-ökológiai Programhoz kapcsolódó támogatás igénybevételeének részletes szabályairól) (20).

Fontos azonban, hogy a főnövény mellett ezen kultúrák magassága sem érheti el a napelemes panelek magasságát, a kiárnyékolás így az áramtermelés rovására menne.

Az ausztriai EWS Consulting GmbH forgalmazó cégnél a naperőmű által lehatárolt, gépi mezőgazdasági művelésre nem alkalmas sávot „virágos sávnak” (Blühstreife) nevezik, a Bruck an der Leitäban fekvő ~5 ha nagyságú kísérleti projektjükben aktívan kutatják ezen sorok gépi művelés nélküli hasznosítási lehetőségeit (37).

A 17. ábra egy napkövető AP-V rendszert ábrázol búza főnövényvel. A sorok közötti sáv elképzelhető, hogy valamilyen takaró keverék kultúrával be van vetve, a képről a kék búzavirág (*Cyanus segetum*) és a pipacs (*Papaver rhoeas*) vehető ki bizonyosan, esetleg a kamilla (*Matricaria chamomilla*) virág nélküli állapotban, ezek a növények gabonaállományokban mind gyomnövénynek tekintendők, melyek a termésmennyiségét csökkentik. Napkövető rendszerek művelés nélküli sávjaiban előfordulva azonban ki lehet emelni mindegyik említett növény népi gyógyászatban betöltött szerepét, biodiverzitást növelő szerepét, méhlegelő szerepét és állásfoglalás nélkül kijelenteni, hogy amennyiben az adott évi termesztett növényvel nem konkurálnak (itt azért a gyommagok terjedését tekintve felmerülhet némi kétség), úgy jelenlétük a napkövető rendszer alatt elfogadható.

17. ábra: Napkövető napelemez rendszer alatti „virágos sáv” Bruck an der Leitha-ban (© Norbert Sauberer. 2023.06.13)



6. Az agrofotovoltaikus erőművek létesítésének magyarországi jogszabályi háttere, a leendő szabályozás kapcsán felmerülő kérdések áttekintése

6.1 Uniós stratégia az agrofotovoltaikus rendszerekre vonatkozóan

Az uniós napelem stratégiáról szóló bizottsági közlemény (21) az alábbi kiemelt módon támogatja a mezőgazdasági területekre tervezett napelemparkok telepítését:

„A telepítés innovatív formái– sokrétű térkihasználás

*A sokrétű térkihasználás hozzájárulhat a helyért folytatott versengéshez kapcsolódó területi korlátok enyhítéséhez, ideértve a környezetvédelmet, a mezőgazdaságot és az élelmezésbiztonságot is. A földterületek mezőgazdasági hasznosítása bizonyos feltételek mellett kombinálható az úgynevezett **agrovoltaikus** (vagy **agrofotovoltaikus**) napenergia-termeléssel. A két tevékenység szinergiákat hozhat létre, amelyek révén a fotovoltaikus rendszerek hozzájárulhatnak a növényvédelemhez és a termés hozam stabilizálásához, és a terület elsődleges hasznosítását továbbra is a mezőgazdaság fogja jelenteni. A tagállamoknak a közös agrárpolitikára vonatkozó nemzeti stratégiai tervük, valamint a napenergiára vonatkozó támogatási keretük kidolgozása során mérlegelniük kell az agrofotovoltaikus rendszer kifejlesztésének ösztönzőit (pl. az agrofotovoltaikus rendszernek a megújuló energiaforrásokra vonatkozó pályázatokba való integrálása révén). Azt is érdemes megjegyezni, hogy a mezőgazdasági ágazatban az állami támogatási szabályok lehetővé teszik a fenntartható energiához nyújtott beruházási támogatást.”*

6.2 Agrofotovoltaikus erőművek létesítésének magyarországi jogszabályi háttere

6.2.1 A Földtörvény agrofotovoltaikus vonatkozásai

A 2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről (1) következő rendelkezései az irányadók az agrofotovoltaikus rendszerekre vonatkozóan:

„9. § (2) Nem minősül a termőföld más célú hasznosításának napenergiát az e törvény végrehajtására kiadott rendeletben meghatározottak szerinti agrofotovoltaikus rendszer szerint felhasználva villamos energiát termelő erőmű létesítése és üzemeltetése, ha nem akadályozza az alatta fekvő területnek a 2. § 19. pontjában megjelölt valamely művelési ág szerint termőföldként történő hasznosítását.”

***„66. § (1a) * Felhatalmazást kap a Kormány, hogy rendeletben határozza meg
c) * az agrofotovoltaikus erőmű létesítésének és üzemeltetésének földvédelemre vonatkozó...részletes szabályait”***

Ez a rendelet azonban a dolgozat megírásának idején még nem született meg. Fent hivatkozott rendelkezések 2021.06.05. óta hatályosak. Az Agrárminisztérium tájékoztatása szerint hamarosan várható az ide kapcsolódó rendelettervezet, konkrét időpontot nem jelöltek meg ezzel kapcsolatban, azonban nyugati országok hasonló szabályozását elkezdték már tanulmányozni, továbbá a piaci oldalról is folyamatosan érkeznek az Agrárminisztérium felé a megkeresések, melyek azokra a szabályozási kérdésekre irányulnak, melyek egyértelműen elhatárolják a termőföld napelemes erőművel kombinált mezőgazdasági hasznosítását a termelésből kivont földterületre szabad állású napelemes rendszerektől.

Véleményem szerint a naperőművek hagyományos engedélyezési eljárásán kívül szükséges lesz az agrofotovoltaikus erőművek telepítéséhez jogosult tervező által készített talajvédelmi tervet készíttetni és szakhatósággal engedélyeztetni, melyben ki kellene térni a tartószerkezeti elemek rögzítési módjára, továbbá figyelembe kellene venni a telepítés következményeként az esetleges talajeróziót, annak mértékét, feltétlenül szükséges lesz meghatározni a mezőgazdaságilag nem művelt terület lehetséges arányszámát, azaz a termőföld csökkenés maximális mértékét. Továbbá elképzelhető, hogy a környezetvédelmi hatóság a telepítés előtt környezeti hatástanulmány készítését írja elő, pl. a Natura 2000 hálózat részét képző területen, melynek során szükséges lehet felmérni a komplett napelemes rendszer élettartalma alatt okozott környezeti terhelés mértékét, az élővilágra gyakorolt közvetlen és közvetett hatását, valamint az élettartam végén a lehetséges rekultivációt. Ezen kérdések rendeleti szabályozása nélkül nem értelmezhető a termőföldön, mezőgazdasági műveléssel párhuzamosan telepített és üzemeltetett agrofotovoltaikus rendszer. További felmerülő kérdés még ide kapcsolódóan, hogy az ingatlan nyilvántartásban az ingatlan leíró lapjára feljegyzésre kerül-e valamilyen módon a termőföldre telepített napelemes rendszer, valamint az, hogy a területalapú támogatásoknál a naperőművek, de legalábbis a szerkezeti elemeik által egyértelműen lehatárolható,

mezőgazdaságilag nem művelt területeket szükséges lesz-e kivonni a támogatható terület nagyságából.

Érdekes aspektusa lehet a szabályozásnak, hogy egy művelés alól kivett területre telepített naperómű telepítésének engedélyezéséhez hozzátartozik annak a helyi települési rendezési tervhez való illeszkedése, szántóföldi területre való telepítés esetén elképzelhető, hogy a helyi önkormányzatnak nem lesz beleszólása egyáltalán ebbe a kérdésbe.

A Földvédelmi törvény egyébként számos könnyítést fogalmaz meg kis teljesítményű (0,5 MW-nál kisebb névleges teljesítőképességű) naperóművek termőföldön való telepítésére, amennyiben azt a földműves tulajdonos, vagy földműves földhasználó létesítési és üzemelteti. Véleményem szerint ezen rendelkezések a mezőgazdasági területeken működő öntözőtelepek öntözőberendezéseinek és a vízkivételi szivattyúk napelemes áramellátásának biztosítja a jogszabályi háttérét, az agrofotovoltaikus eróművek ennél nagyobb volument képviselnek.

Németországban már kidolgozták az agrofotovoltaikus rendszerek engedélyezési eljárását, itt az agrofotovoltaikus naperómű engedélyezési terve mellé külön mezőgazdasági művelési tervet szükséges készíteni, melyben ki kell térni a beépített terület nagyságára, a termőföld csökkenés mértékére, a mezőgazdasági művelési módra, a talajvédelemre, az öntözhetőségre, a rendszer tervezett élettartamára valamint szükséges gazdasági hatékonyság számításokat végezni.

6.2.2 Termőföld tulajdoni viszonyok Magyarországon

A Földvédelmi törvény alapján Magyarországon kevés kivételtől eltekintve a termőföldet csak természetes személy birtokolhat (, mely azt bérbe adhatja más gazdálkodónak, akár jogi személynek.

Magyarországon az államosítás, majd a kárpótlások következtében sajátos birtokviszonyok alakultak ki az osztatlan közös tulajdon intézményének köszönhetően. A magyar mezőgazdasági területek csaknem fele osztatlan közös tulajdonban van, ami több mint 2 millió hektárt jelent (22).

Az osztatlan közös tulajdonú ingatlanon fennálló tulajdonjog meghatározott hányadok szerint több személyt illet meg, a hányadok pontos elhelyezkedése a tulajdon ingatlanon nincsek

kijelölve. Az osztódási folyamat a tulajdoni hányadok öröklésével csak fokozódik, melynek eredménye külső, irányított beavatkozás nélkül egyre elaprózódottabb és átláthatatlanabb hányadú tulajdonosi szerkezet, mely bármely termőföldön tervezett beruházást - legyen az öntözés vagy akár agrofotovoltaikus rendszer létesítése- ellehetetlenít. A tiszta és átlátható földtulajdoni struktúra érdekében az utóbbi években kormányzati támogatással elindultak az eljárások a részarányok kimérése érdekében abból a célból, hogy az osztatlan közös tulajdonrészek minél nagyobb számban önálló ingatlanná alakuljanak. A folyamat minden bizonnyal még sok évet fog igénybe venni, de üdvözlendő minden ide irányuló törekvés.

6.2.3 Építményi jog

A telepítés jogszabályi háttéréhez kapcsolódóan szintén szükséges említést tenni arról, hogy a Ptk-ba (2013. évi V. törvény a Polgári Törvénykönyvről) (23) 2023-ban visszavezték az 1900-as évének elején még létező, aztán később megszüntetett ún. *építményi jog* fogalmát, mely a naperőműveknek, mint építményeknek a telepítését is szabályozhatja nem saját (beruházó tulajdona) ingatlanon.

Az építményi jog jogosultsága alapesetben a telek tulajdonosától eltérő személyt illet meg (mely egyébként jelenleg csak jogi személy, tehát vállalkozás lehet), és – a haszonélvezethez, illetve a jelzáloghoz hasonlóan – bejegyezhető az ingatlan tulajdoni lapjára. Legnagyobb előnyeként 2 dolgot említenek: az építményi jog egyrészt szabadon – azaz az ingatlan tulajdonosának hozzájárulása nélkül – átruházható, másrészt pedig meg lehet terhelni zálogjoggal, így különösen pénzüintézet által finanszírozott nagyobb beruházások létrejöttét segítheti elő, pontosan olyanokét, mint a naperőművek.

Az építményi jog mellett egy másik lehetséges alternatívája lehet az agrofotovoltaikus rendszerek megvalósítására ingatlanügyi szempontból, ha az a beruházó által bérelt földterület részen történik, ekkor a földtulajdonos- földhasználó, aki a mezőgazdasági termelő, a területnek kizárólag azt a részét adja bérbe, amelyen a naperőmű beruházás történik, a földterület fennmaradó részét pedig továbbra is mezőgazdasági célra hasznosítja, műveli. Ebben az esetben a földterület egyértelműen lehatárolható részét kell, hogy érintse az egyik illetve a másik hasznosítási cél, a beruházással érintett részre az ingatlan leíró lapon földhasználati jog bejegyzés kerül, melynek érintett részeit a földhivatalhoz a bérleti szerződés mellékleteként benyújtott vázrajzon egyértelműen jelölni szükséges. Véleményem szerint ez jogilag kizárólag

az 5.2 fejezett II. kategória (min. 10 m széles mezőgazdaságilag művelt sorok közötti naperómű sor-sorok telepítése) esetén értelmezhető, az 5.2 fejezet I. kategória (magasított napelemes rendszer) nem. A naperómű beruházója, amennyiben az nem maga a mezőgazdasági termelő, a széléróművek létesítése során alkalmazott gyakorlat szerint fizethetné a földtulajdonosnak a bérleti díjat, mely több tételből állhat össze: a díj egyik eleme a művelésből kivett terület nagysága után, egy része a megtermelt áram mértéke után lehetne aktuális, továbbá a bérleti díj egy része a rendszer árnyékolásának mértékéből, azaz közvetlenül az okozott termés kieséssel összefüggésben kerülhetne megállapításra. Utóbbi tétel mértékének megállapításához természetesen szükség lenne pontos megelőző vizsgálatokra. A bérleti szerződés időtartama pedig a napelem tervezett élettartalmának idejére kellene szólnia, a földhaszonbérleti szerződések magyarországi gyakorlat szerint 5 évnél nem hosszabb időre köttetnek, ez az időtartam a naperómű beruházójának földbérletre nem lehet reális opció.

Az agrofotovoltaikus rendszerek létesítése tehát megújuló energiát hasznosító rendszerként abszolút támogatott elemei az uniós és az azt alkalmazó hazai klímavédelmi és energiapolitikai céloknak, a telepítés és működtetés lehetőségét a hazai jogszabályozás még csak részben fektette le, a naperóművek létesítéséről a szóló hazai jogszabályok pedig (2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról (Vet.) (24), 273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet (Vet. Vhr.) (25) és a 382/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a villamosenergia-ipari építésügyi hatósági engedélyezési eljárásokról) (26) pedig nem alkalmazhatók kizárólag az agrofotovoltaikus rendszerek telepítésénél, azok speciális volta miatt.

7. Különböző agrofotovoltaikus rendszerekhez kapcsolódó gazdasági vonatkozások

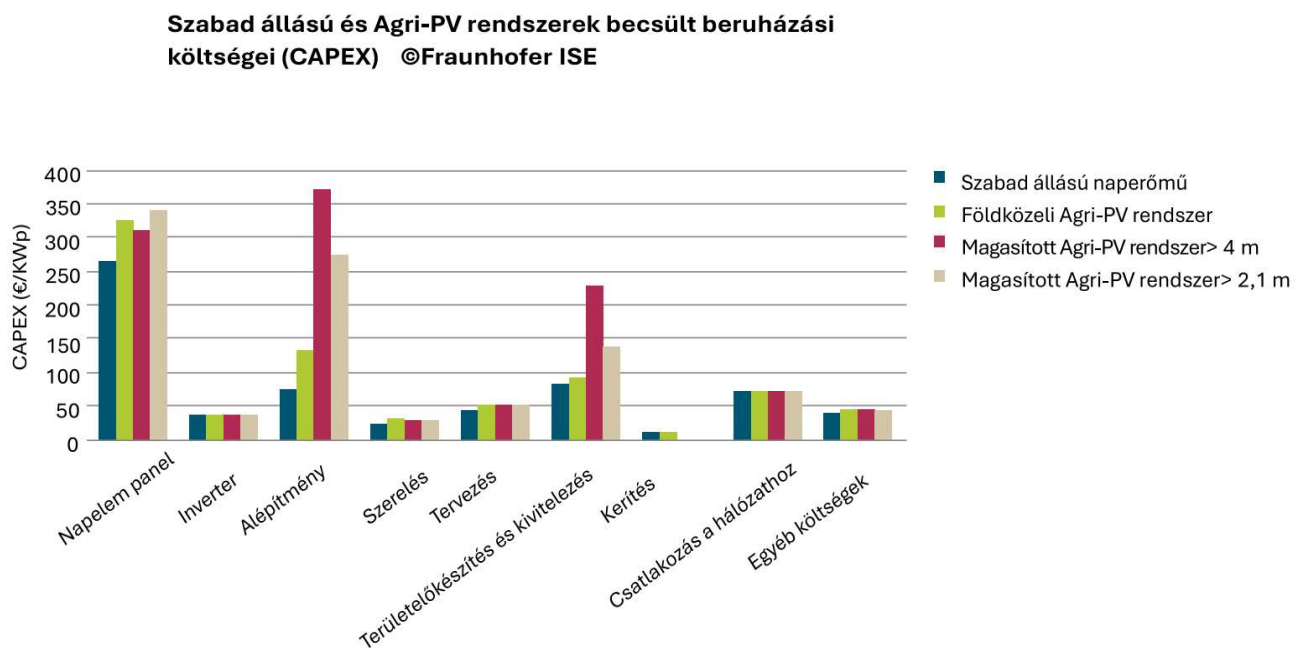
7.1 Beruházási költségek összehasonlítása az egyes agrofotovoltaikus rendszerek esetén

Bármely napelemes rendszer telepítésénél az alábbi beruházási költségelemekkel szükséges tervezni:

- napelemes panelek költsége
- inverterek költségei
- alépítmény költségek
- szerelési költségek
- tervezés költségei
- területelőkészítés és kivitelezés költségei
- kerítés költségei
- hálózathoz való csatlakozás költségei
- egyéb költségek

A Fraunhofer Intézet elvégezte az egyes agrofotovoltaikus rendszerek beruházási költségeinek (Capital expenditure-CAPEX) összehasonlítását, melyet a 18. ábra szemléltet.

18. ábra: Szabad állású és Agri-PV rendszerek becsült beruházási költségei (Forrás: Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende c. kiadványának 38. ábrájából lefordítva)



Szabad állású naperőmű alatt olyan naperőművet szükséges érteni, amely nem mezőgazdasági művelés alatt álló földterületen lett létesítve, tehát a földterület az áramtermelés miatt ki lett vonva a mezőgazdasági művelésből, ezért a sorok távolságát és az panelek tájolását kizárólag a minél optimálisabb áramtermelés határozza meg a rendelkezésre álló terület maximális kihasználásával.

A 9. ábra földközeli agrofotovoltaikus rendszere az 5.2 fejezett II. kategóriájú rendszere, tehát az a típus, melynél a napelemes panel sorok között mezőgazdasági művelés folyik, ez lehet akár vertikálisan elhelyezett bifaciális panelekből álló rendszer, vagy napkövető rendszer is. A magasított agrofotovoltaikus rendszerek pedig 2 kategóriában (2,1 és 4 m közötti magasság, illetve 4 m feletti magasság) pedig az 5.2 fejezet I. kategóriájának rendszerei, ahol az mezőgazdasági művelés a napelemes panel sorok alatt zajlik.

A költségösszehasonlítás első érdekes eleme maga a napelemes panel, amelynek árai rendre magasabbak lettek a Fraunhofer Intézet összehasonlításában az AP-V rendszereknél, holott nem gyártanak kifejezetten ilyen célokra speciális paneleket, logikusabb lett volna, ha az inverterek árához hasonlóan azonosak a költségek bármely konstrukciónál. A bifaciális napelemes panelek árai a piacon magasabbak a monofaciális paneleknél, de azok ugyanúgy használhatók bármelyik célra a felsorolt kategóriákból, tehát elvileg itt nem indokolt a magasabb ár AP-V erőművek paneleinél.

Az alépítmény becsült költsége érthető módon a 4 m feletti, magasított AP-V rendszereknél a legmagasabb (összességében többbe kerül az alépítmény, mint a panelek ára), viszont ez teszi lehetővé az alatta lévő földterületen a mezőgazdasági gépek zavartalan mozgását. A napelemes tartószerkezetek többnyire acélból vagy alumíniumból készülnek, a bekerülési költség mértéke így érthető, a tartószerkezet lehetséges rögzítési módjairól az 5.2 fejezetben volt szó, a tartószerkezet mérete és azt érő terhelések minden bizonnyal arányban vannak annak földben való rögzítés módjával, továbbá annak költségeivel is.

Szintén kiugró költség a magasított agrofotovoltaikus rendszerek területelőkészítési és kivitelezési költsége, viszont a kalkulációban valószínű a magasított rendszereknél nem számoltak a vagyon- és vadvédelem szempontjából az erőmű körbekerítésének költségével, ez minimálisan kevesebb költséget jelent a többi költségnem mértékéhez képest.

A hivatkozott tanulmány nem tér ki az összehasonlításban az ún. napkövető (sun tracker) napelemes rendszerek lehetséges többlet költségeire.

A napkövető napelemes rendszerek optimálisabban tudják a Nap sugárzását kihasználni, a fixen rögzített panelekből álló rendszereknél, mivel ezeknél a rendszereknél a napelemes modulsorok 1 vagy 2 tengely mentén fordulva vagy érzékelők vagy meghatározott algoritmusok által irányítva követik a Nap mozgását, hogy a Nap sugárzása a paneleket mindig a lehető legoptimálisabb szögben állva, merőlegesen érje, ezáltal rendszer szinten akár 20-30%-os energiatöbbletet termelve (27). A telepítés többletköltségét a motorok, a vezérlés és az érzékelők jelentik, továbbá szükséges ide kapcsolódóan időjárás állomást is telepíteni, mely erős szél esetén a vezérlésnek ad jelet, az pedig beállítja a paneleket vízszintes pozícióba, de eső esetén a panelek karbantartását is elvégzi a napelemes panelek megmozgatásával. Összességében a napkövető rendszerek a hatékonyabb áramtermelés által optimálisabb helykihasználást tesznek lehetővé, mindamelllett, hogy a beruházási költségük nyilván valóan magasabb. A napkövető rendszereknek is létezik agrofotovoltaikus rendszerben használható konstrukciója, mindössze a panelsorok közti szabad, azaz a panelek mozgásával nem érintett sorközüket kell a mezőgazdasági gépi művelés szélességéig (min. 10, de inkább 12 m) megnövelni. Példa erre a piacon az osztrák EWS Consulting GmbH által forgalmazott EWS Sonnenfeld rendszer (37).

Bármely hálózatra termelő napelemes erőmű lokációjának tervezésénél alapvető műszaki, de egyben a beruházási költségeket is nagyban befolyásoló kérdés, hogy hol és milyen módon tud rácsatlakozni az a közcélú áramhálózathoz.

A villamos energia törvény alapján (2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról) csatlakozás szerint a következő csoportosítás lehetséges (28):

- 50 kVA-ig háztartási méretű kiserőmű (HMKE)
- 50 - 499 kVA között kiserőmű (KE)
- 500 kVA – 49 999 kVA összevont kiserőmű (ÖKE)
- 50 000 kVA felett erőmű (E)

A kiserőművek már középfeszültségen, az erőművek pedig közép vagy nagyfeszültségen csatlakoznak a hálózatra. A csatlakozáshoz szükséges infrastruktúrát a beruházónak szükséges kiépíteni, melyet aztán az áramszolgáltatónak át kell adnia üzemeltetésre.

Egy beruházás összköltségét tehát nagyban befolyásolják a csatlakozási felételek, másrésről viszont adódik a következtetés, hogyha egy földterület a hálózathoz csatlakozás szempontjából

kedvező fekvésű, ám mezőgazdasági művelés alatt áll, aranykorona értéke magas, napelempark létesítés miatt nem feltétlenül szükséges azt kivonni a művelésből.

A csatlakozás műszaki vonatkozású kérdése a rendelkezésre álló szabad hálózati kapacitás, mely Magyarországon jelenleg a megújuló energiák felhasználásával kapcsolatosan megfogalmazott célokhoz nem elegendő, ahhoz további hálózatfejlesztés szükséges.

Általánosságban elmondható az agrofotovoltaikus rendszerek létesítése esetén, hogy a beszerzési és a beruházási költségek magasabbak, mint a hagyományos szabad állású naperóműveknél. Természetesen minél nagyobb az erőmű beépített teljesítménye, a méretgazdaságosság elvéből kiindulva annál gazdaságosabb lehet a megvalósítás. A hagyományos naperóművekhez képest magasabb beruházási költséget kompenzálhatja a magasabb várható energiahozam, a magasabb átvételi ár például vertikálisan elhelyezett bifaciális napelemes panelekből álló rendszer esetén (11. ábra), illetve, hogy a földterület beépítetlen, művelés alatt álló részéről továbbra is várható mezőgazdasági tevékenységből származó bevételből adódó nyereség eredményes gazdálkodás esetén.

Végezetül megjegyezném, hogy bármely típusú naperómű, legyen az agro- vagy nem agrofotovoltaikus telepítésű, beruházási költségében meghatározó tényező magának a földterületnek az értéke, ennek fontosságát Mark és Greta Bolinger (2022) emeli ki az IEEE Journal of Photovoltaics című tudományos folyóiratban megjelent tanulmányukban:

„A közüzemi méretű (megj.: 0,5 MW_{AC}-nál nagyobb teljesítményű) fotovoltaikus erőművek legtöbb alkatrészének (pl. modulok, inverterek és nyomkövető rendszerek) költsége csökkenni fog a technológiával vagy gyártással kapcsolatos ismeretek bővülése miatt. Ezzel szemben az erőmű felépítésére szolgáló telek ára nagyobb valószínűséggel nő a nagyobb mértékű telepítéssel, mert – ahogy Will Rogers és/vagy Mark Twain egykor híresen kifejtette – a föld az egyetlen dolog, amelyből „nem csinálnak többet.””

7.2 Üzemeltetési költségek

Az üzemeltetési időszak, vagyis a naperőmű teljes élettartam alatt fellépő karbantartási munkálatok, esetleges javítási munkálatok és a kötelező felülvizsgálatok költségeivel szükséges a beruházás tervezése során kalkulálni. Szükséges azonban megjegyezni, hogy az erőmű üzemeltetési ideje alatt az élők munkáigény a rendszer karbantartási munkákra korlátozódik. Az agrofotovoltaikus rendszerek paneljei a közvetlenül alatta/mellette zajló gépi munkálatok jobban ki vannak téve a por lerakódásának, ami mérhető áramtermelés kieséssel jár, így rendszeres felülvizsgálat mellett mindenképpen nagyobb gondot kell fordítani a rendszeres tisztításra.

7.3. Áramtermelés értékesítéséből származó árbevétel

Áramtermelés hozama

A bevételi oldalról a naperőmű tervezett élettartalma (20-30 év) alatt várható áramtermelés hozamával (Σ MWh) lehet számolni. A várható éves áramtermelés kalkulálására számos interneten is elérhető szoftver rendelkezésre áll. (pl. PVGIS- Photovoltaic Geographical Information System), mely a rendszerre jellemző megadott adatok alapján (telepítés helye, panelek típusa, rendszer teljesítménye, beépítési helyzet, dőlésszög, veszteségek stb.) becsli a rendszerünk várható éves hozamát havi lebontásban. A napelemek élettartamuk alatti éves degradációból adódó termeléses csökkenéssel szintén szükséges kalkulálni. A degradáció pontos értékét a gyártói adatokból lehet kinyerni.

Áram átvételi ára

Az áram átvételének piaci leendő piaci árát, tehát ilyen módon az áramtermelés bevételi oldalát kalkulálni, ebből következően pedig a beruházás Cash Flow-ját 20-30 éves időtartamra lehetetlen feladat. Ahhoz azonban, hogy a megújuló energiaforrásból villamos áramot termelő beruházások valóban megvalósuljanak a politikai, környezetvédelmi és gazdasági akarattal összhangban, ösztönzőként Európa számos országában állami szinten szabályozott kötelező átvételi támogatások működnek, melyek egyrészt garantálják, hogy a megtermelt áramot az

áramszolgáltató 20-25 év múlva is átveszi, másrészt pedig a megtermelt áram felvásárlására árgaranciát vagy kiegészítő támogatást nyújtanak a tervezhetőség elősegítésére.

Magyarországon korábban a KÁT, jelenleg pedig a METÁR rendelet (299/2017. (X. 17.) Korm. rendelet szabályozza a kérdéskört (29).

A felhasználói oldalról itt jegyezném meg érdekességképpen, hogy Ausztriában egyes áramszolgáltatóknál lehetőség van arra, hogy a lakossági fogyasztó kifejezetten megújuló energiákból származó áramot válasszon saját felhasználására, melynek ára akár magasabb is lehet (a Wien Energie-nél ez jelenleg $\sim 0,2$ Eurocent/kWh) (30), a fosszilis vagy vegyes forrásból származó áramnál, az extraköltség vállalásával azonban a felhasználó lakossági fogyasztóként is közvetlen módon leteheti a voksát a klímasemlegességi célok támogatására. Magyarországon erre a hatósági árak miatt csak vállalati felhasználóknak van lehetősége. Az ő esetükben a tarifa alapját az uniós szabványok (RECS (Renewable Energy Certificate System) alapján kiállított úgynevezett Zölderedet-igazolás képezi (31), ezt egy áramtermelő minden 1 MWh termelt árammennyiség után igényelheti a tanúsító szervezettől. A nagyvállalati fogyasztók e tanúsítvány megvásárlásával igazolhatják, hogy az általuk felhasznált árammennyiség részben vagy egészben megújuló forrásból származik.

Az áram átvételi ára mellett a mezőgazdasági tevékenységből származó árbevételt sem lehetséges évekre előre kalkulálni, a termelés kockázata a piaci és az időjárási tényezők bizonytalansága miatt más ágazatokhoz képest magasabb. A hozamok és a ráfordítások aránya a piaci és a szabályozási környezet változékonysága miatt nem feltétlenül áll összhangban. A tevékenységi kör diverzifikációja, az áramtermelés mindenestre hosszú távú befektetésként a kockázatokat megoszthatja, mérsékelheti (AKI, 2009).

8. Agrofotovoltaikus rendszerek területre vonatkoztatott teljesítmény- és energiasűrűsége, a lehetséges konstrukció típusok főbb műszaki paraméterei

Ebben a fejezetben elemzem a teljesítménysűrűséget, azaz az egységnyi területre beépíthető napelem teljesítményt az egyes lehetséges AP-V konstrukciók műszaki paramétereit figyelembe véve. A várható éves áramtermelés mértékét ezen felül a napelemes panelek tájolása és a dőlésszöge és más tereptulajdonságok határozzák meg. Az egységnyi területre vonatkoztatott megtermelt áram adja a rendszer energiasűrűségét.

8.1 Teljesítmény- és energiasűrűség értelmezése naperóműveknél

Az Egyesült Államokban működő Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratórium kutatói, Mark és Greta Bolinger (2022) szabad állású (nem agrofotovoltaikus), 0,5 MW_{AC} teljesítmény feletti naperóművek teljesítmény- és energiasűrűségének az elmúlt alig 1 évtized alatt végbemenő változásait vizsgálva az alábbi következtetésre jutottak:

„Megállapítottuk, hogy a medián teljesítménysűrűség 52%-kal nőtt a fix dőlésszögű berendezéseknél és 43%-kal a nyomkövető berendezéseknél 2011 és 2019 között, míg a medián energiasűrűség 33%-kal nőtt a rögzített dőlésszögű berendezéseknél és 25%-kal a nyomkövető berendezéseknél ugyanebben az időszakban.”

Ennek megfelelően a tanulmányuk által 2019-re érvényes frissített Egyesült Államokbeli referenciaértékek a következők.

- **Teljesítménysűrűség:** 0,87 MW_{DC}/hektár fix dőlésszögű és 0,59 MW_{DC}/hektár napkövető rendszereknél.
- **Energiasűrűség:** 1,10 GWh/év/hektár fix dőlésszögű és 0,97 GWh/év/hektár napkövető rendszereknél.

A teljesítmény- és energiasűrűségek ilyen gyors ütemű növekedésének az oka valószínűleg a napelemes napelem modulok teljesítményének a növekedésével, ebből következően pedig

hatásfok növekedésének a nagyságával van összefüggésben. A napelemek hatékonyságát standard vizsgálati körülmények között mérik, 25°C-os cella hőmérsékleten, 1000 W/m² napsugárzási teljesítményen és 1,5 légtömegen. A napelemek maximális hatásfoka (%) úgy számítható ki, hogy a modul névleges teljesítményét (W) elosztjuk a panel négyzetméterben kifejezett teljes területével 1000 W/m² besugárzási szint mellett (32). A maximális hatásfok tulajdonképpen a kimenő teljesítmény osztva a bemeneti teljesítménnyel, százalékban kifejezve. Internetes kutatásaim során a jelenleg a piacon a 25%-os hatásfokot megközelítő 600 W teljesítmény körüli napelemes panelek a leghatékonyabbak. Ha a napelemes panelek teljesítménynövekedéséből indulunk ki a panelek fizikai méretének nagyobb mértékű változása nélkül, könnyen alátámaszthatók a fenti teljesítménysűrűség és energiasűrűség változások, melyek egyben a korábbiaknál hatékonyabb helykihasználást is eredményeznek, egységnyi területen több áram termelhető nagyobb teljesítményű napelemes panelek használata mellett.

Ha az AP-V rendszereket teljesítmény- és energiasűrűségi szempontból nézzük, azok nem különböznek bármely más fotovoltaikus rendszerektől, ahol a Napból érkező fényt a napelemek összegyűjtik, csak az áramtermeléssel érintett területen felmerül még egy további igény, a növénytermesztés, melyet térben és időben az áramtermelés mellett szeretnénk megvalósítani (a felvetés egyébként mindkét irányból megközelítve igaz lehet, tehát a növénytermesztés mellett szeretnénk napelemes áramtermelést megvalósítani vagy az áramtermelés mellett szeretnénk növényt termeszteni), így a 2 rendszer működtetésének kell az optimális feltételeit megkeresni és megvalósítani, hogy az egyik rendszer működése ne, vagy legfeljebb a kívánt mértékben menjen a másik rendszer működésének a rovására és a két rendszer működésének a hozadékát szummázva pedig egy sokkal komplexebb és hatékonyabb rendszert kapjunk, mintha csak az egyik vagy másik rendszert valósítanánk meg.

A következő alfejezetben szereplő lehetséges AP-V konstrukciók paramétereit kutatási projektekből és forgalmazói ajánlásokból próbáltam kinyerni, mivel azonban az AP-V rendszerek megvalósítása és működtetése még viszonylag gyerekcipőben jár külföldön is, megjegyezném, hogy ezek az adatok meglehetősen hozzávetőlegesek.

8.2. Magasított konstrukciójú agrofotovoltaikus rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége

Az 5.2.3. fejezetben ismertetett, Fraunhofer Intézet által kutatott heggelbachi kísérleti üzem műszaki paraméterei a következők (33):

Telepítés helye és ideje: Heggelbach (47.85386495954158, 9.136718010577184), 2016

Hosszúság: 136 m

Szélesség: 25m

Magasság: 8 m

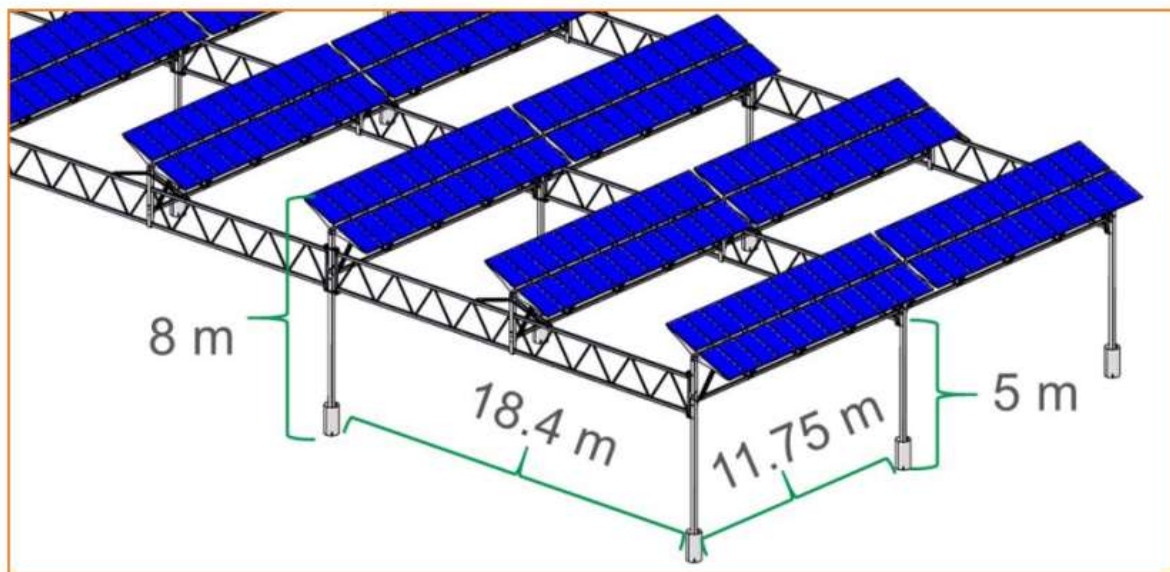
Terület: 3400 m²

Függőleges távolság: 5 m

Beépített teljesítmény: 194,4 kWp (720 db SolarWorld SW 270 duo bifacial napelemes modul)

Termesztett növények: lóhere, zeller, burgonya és őszi búza

19. ábra: A Heggelbachi magasított agrofotovoltaikus kísérleti rendszer (Forrás: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/09/07_M.-Trommsdorff_A-PV_T13-Workshop.pdf) (33)



A rendszer 30 PV modulsorral rendelkezik, amelyek soronként két modulból állnak egy modul tartóhoz rögzítve. A modulok sortávolsága 27%-kal nagyobb a hagyományos nem magasított, nem agrofotovoltaikus konstrukciókénál. Ennek eredményeként az éves átlag a növénytermesztéshez elérhető fotoszintetikusan aktív sugárzás (photosynthetically active radiation (PAR) az agrofotovoltaikus rendszer alatt körülbelül 60%, az elérhető napfény

legfeljebb 63%-ra emelkedik a nyári hónapokban a Fraunhofer Intézet kutatásai szerint. A fénytől függően az AP-V rendszerben termesztett növények telítési pontja, az árnyékolás hatása, valamint a PAR szignifikánsan változik, pozitív vagy negatív hatással lehet, vagy egyáltalán nincs hatással.

A szerkezeti pillérek egyfajta védelemmel lettek ellátva, megakadályozva ezzel a közvetlen ütközést a mezőgazdasági gépek és a tartószerkezet pillérei között. A rendszert úgy tervezték, hogy az merevítés nélkül is megállja a helyét. A támasztékok pókhorgonnyal (12. ábra) vannak rögzítve a talajban, így az egész rendszerből elhagyható a beton alapozás, a rendszer az élettartam végén, amennyiben szükséges, maradék nélkül szétszerelhető. A kivitelezés során mobil talajvédelmi paneleket raktak le a nehéz építőipari gépek és daruk számára, megakadályozva ezzel a talajtömörödést.

A teljesítménysűrűség ennél a konstrukciónál: 0,571 MWp/ha

A tényleges éves energiahozam 1280 kWh/kWp körül alakult, így az energiasűrűsége ennek a rendszernek az energiasűrűsége ~0,7319 GWh/év/ha

A 4.2 fejezetben említésre került, hogy a Magyarországon a meglévő napelemparkok fajlagos területigénye 2,4 hektár Megawattként, ami 0,417 MW/ha teljesítménysűrűségeket jelent.

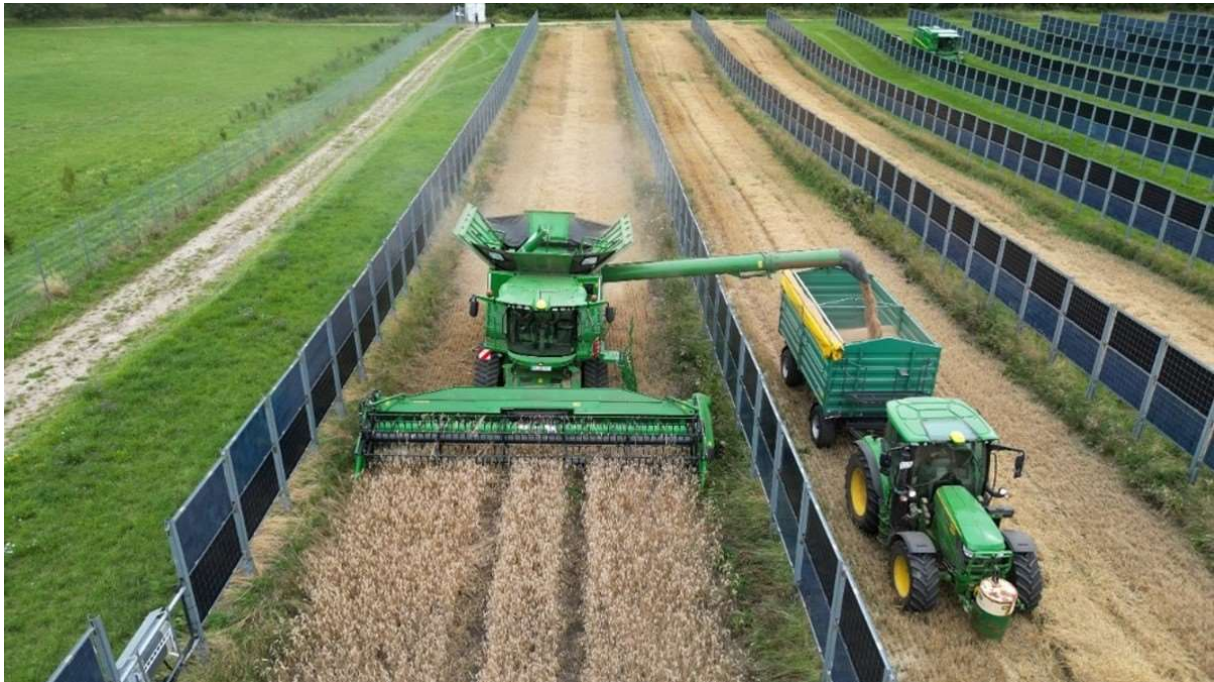
Ez az adat messze elmarad a 8.1 fejezetben említett Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratórium által közzétett 0,87 MW_{DC}/ha referenciaértéktől, a magyarországi átlaghoz képest azonban a magasított konstrukciójú AP-V rendszer energiasűrűsége azonban biztató képet mutat, annál is inkább, mivel a teljesítménysűrűség, így az éves energiahozam ugyanennél a konstrukciónál ma már akár a többszörösére is növelhető, a piacon jelenleg kapható 600-700 W teljesítmény körüli bifaciális napelemes panelekkel.

8.3 Vertikálisan telepített, kelet-nyugati tájolású bifaciális elemekből álló napelemes rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége

A vertikálisan földfelszín közelébe telepített bifaciális elemekből álló napelemes rendszerek elvi felépítését az 5.2 fejezett 11. ábrája mutatja, képen pedig a 20. ábra ábrázolja. Ennél a rendszernél, ahogy az már sorok közti növénytermesztéssel foglalkozó 5.3.2 alfejezetben említésre került, a gépi megművelhetőséghez szükséges minimális sortáv limitálja a napelemes

panelsorok egymáshoz való távolságát, a panelek dőlésszöge pedig panelsorok horizontális helyfoglalását határozza meg. A rendszer tájolása a várható áramtermelést befolyásolja.

20. ábra: vertikálisan földfelszín közelébe telepített bifaciális elemekből álló napelemes rendszer (Kép forrása: <https://electrek.co/2023/12/23/us-first-vertical-agrivoltaics-system/>) (34)

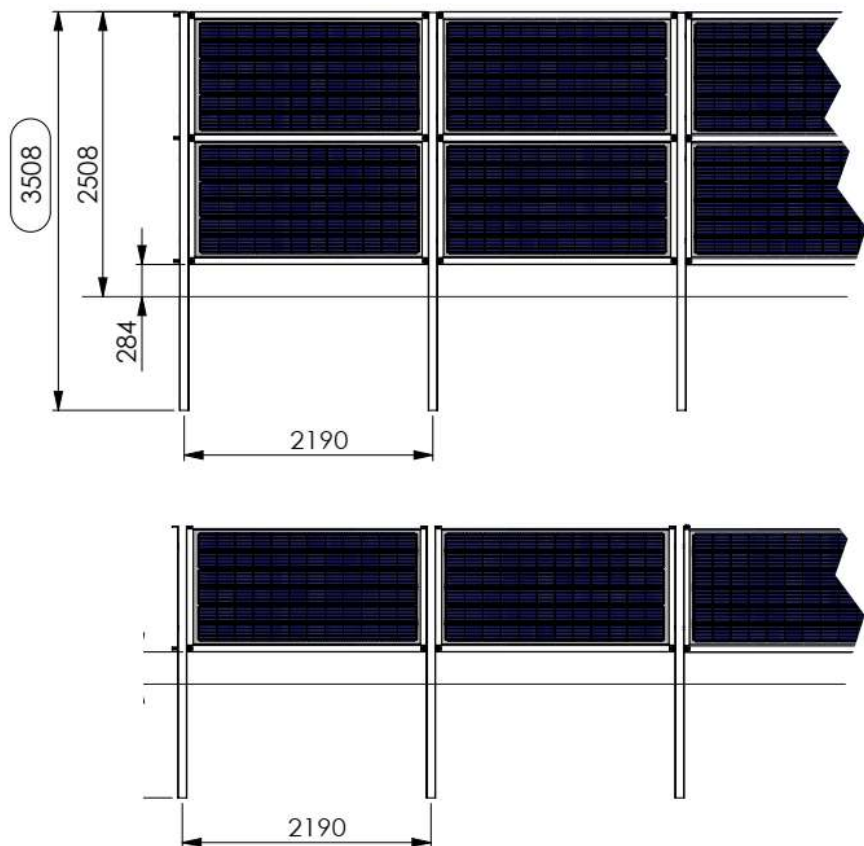


Az 5.3.2 fejezetben említett gabersdorfi agrofotovoltaikus erőmű egy 1,9 MW teljesítményű rendszer, amely egy 5 ha-os területen lett kivitelezve, így teljesítménysűrűsége 0,4 MWp/ha. A pontos panelsorok közti pontos távolság nem ismert, a beruházó szerint a terület több, mint 90%-a mezőgazdasági művelés alatt maradt továbbra is. A németországi Next2Sun Technology GmbH szintén kivitelezett a Baden-Württembergi Donaueschingenben egy 4,1 MWh teljesítményű, ugyanilyen elven működő, 14 ha területet elfoglaló naperőművet (35), ennek teljesítménysűrűsége 0,29 MWp/ha, valószínű a gépi művelés miatt 10 m-nél nagyobb a napelemes panelsorok közti távolság.

Az AgriPV GmbH nevű német cég saját maga által forgalmazott B72/6 - 450 Wp bifaciális napelemes paneleiből (36) hasonló energiasűrűségű A-PV konstrukciókat kínál legalább 10 és 12 m-es sortávnál, attól függően, hogy 1 vagy 2 sor napelemes panellel történik a kivitelezés (21. ábra).

21. ábra és a hozzá tartozó táblázat (Forrás: AgriPV GmbH katalógus (36))

	Dupla soros rendszer		Egy soros rendszer	
	10	12	10	12
Sortávolság (m)	10	12	10	12
Sorok száma (db/ha)	11	9	11	9
Teljesítmény soronként (MWp)/sor	0,041	0,041	0,0205	0,0205
Teljesítménysűrűség (MWp/ha)	0,451	0,383	0,226	0,191
Várható áramtermelés- Energiasűrűség (GWh/év/ha)	0,428	0,364	0,214	0,182



A 2 soros kivitelezés minden bizonnyal költségghatékonyabb, az 1 soros kivitelezésnél pedig a panelek árnyékolóhatása a termesztett növényre a reggeli és az esti órákban kisebb. A paneleket egyébként a 21. ábrán szereplő panelek fekvéséhez képest 90 °-ban elforgatva is el lehet helyezni, álló helyzetben. Bármilyen dőlésszögben elhelyezett bifaciális típusú paneleknél, melyek földfelszínről visszaverődő beeső sugárzást is hasznosítják, korlátozottak a szoftveres áramtermelés becslésének lehetőségei, a legáltalánosabban elterjedtebb PV-GIS termelés kalkulátora például egyáltalán nem tudja bifaciális napelemes panelek várható termelését kalkulálni jelenleg, a PVWatts Calculatorral elvégeztem egy hegyeshalmi lokációjú, tisztán

keleti tájolású, 90°-os szögben elhelyezett 1 kW teljesítményű bifaciális panelekből álló napeleemes rendszer kalkulációját. Az eredményt a 22. ábra mutatja évi 811 kWh áram termeléssel, itt azonban az albedó érték (= a napfény százalékos aránya, amelyet a talaj tükröz a PV modul hátoldalához) ki nem számítása miatt lehet pontatlan a kalkuláció (38). Bár a kalkuláció szerint a várható éves áramtermelés kevesebb lesz, mint az a legideálisabb, déli tájolású, 45°-os szögben elhelyezett panelek esetén lenne (itt egy 1 kW rendszer évi ~1200-1300 kWh áramot termelhet), azonban visszareflektálva a 16. ábra napi áramtermelési görbéire, ha az áramtermelés zömmel nem a déli, hagyományos naperőművek déli csúcstermelési idejére esik, akár kevesebb mennyiségű, de a felvásárlási ár szempontjából ideálisabb időben termelt áram értékesítésével is magasabb felvásárlási árat lehet realizálni, különösen, ha figyelembe vesszük, ha a rendszer által elfoglalt terület egy része gépi művelésre alkalmas mezőgazdasági terület maradhat, melynek hasznosításával további árbevételre lehet szert tenni.

22. ábra: 1 kW teljesítményű bifaciális panelekből álló napelemes rendszer kalkulációja (kalkuláció forrása: <https://pvwatts.nrel.gov/>)

2024. 04. 02. 9:35

PVWatts Calculator



Caution: Photovoltaic system performance predictions calculated by PVWatts® include many inherent assumptions and uncertainties and do not reflect variations between PV technologies nor site-specific characteristics except as represented by PVWatts® inputs. For example, PV modules with better performance are not differentiated within PVWatts® from lesser performing modules. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at sam.nrel.gov) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

The expected range is based on 30 years of actual weather data at the given location and is intended to provide an indication of the variation you might see. For more information, please refer to this NREL report: The Error Report.

Disclaimer: The PVWatts® Model ("Model") is provided by the National Renewable Energy Laboratory ("NREL"), which is operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC ("Alliance") for the U.S. Department of Energy ("DOE") and may be used for any purpose whatsoever.

The names DOE/NREL/ALLIANCE shall not be used in any representation, advertising, publicity or other manner whatsoever to endorse or promote any entity that adopts or uses the Model. DOE/NREL/ALLIANCE shall not provide any support, consulting, training or assistance of any kind with regard to the use of the Model or any updates, revisions or new versions of the Model.

YOU AGREE TO INDEMNIFY DOE/NREL/ALLIANCE, AND ITS AFFILIATES, OFFICERS, AGENTS, AND EMPLOYEES AGAINST ANY CLAIM OR DEMAND, INCLUDING REASONABLE ATTORNEYS' FEES, RELATED TO YOUR USE, RELIANCE, OR ADOPTION OF THE MODEL FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER. THE MODEL IS PROVIDED BY DOE/NREL/ALLIANCE "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL DOE/NREL/ALLIANCE BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO CLAIMS ASSOCIATED WITH THE LOSS OF DATA OR PROFITS, WHICH MAY RESULT FROM ANY ACTION IN CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS CLAIM THAT ARISES OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE MODEL.

The energy output range is based on analysis of 30 years of historical weather data, and is intended to provide an indication of the possible interannual variability in generation for a Fixed (open rack) PV system at this location.

RESULTS

811 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)
January	0.66	16
February	1.57	36
March	2.85	72
April	3.44	83
May	4.72	116
June	4.62	108
July	5.04	120
August	4.28	103
September	2.90	68
October	2.04	51
November	0.89	21
December	0.70	17
Annual	2.81	811

Location and Station Identification

Requested Location	Hegyeshalom	
Weather Data Source	(INTL) BRATISLAVA, SLOVAKIA	20 mi
Latitude	48.2° N	
Longitude	17.20° E	

PV System Specifications

DC System Size	1 kW																												
Module Type	Premium																												
Array Type	Fixed (open rack)																												
System Losses	14.08%																												
Array Tilt	90°																												
Array Azimuth	90°																												
DC to AC Size Ratio	1.2																												
Inverter Efficiency	96%																												
Ground Coverage Ratio	0.4																												
Albedo	From weather file																												
Bifacial	Yes (0.7)																												
Monthly Irradiance Loss	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>Jan</th><th>Feb</th><th>Mar</th><th>Apr</th><th>May</th><th>June</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr> <tr><th></th><th>July</th><th>Aug</th><th>Sept</th><th>Oct</th><th>Nov</th><th>Dec</th></tr> <tr><td></td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td><td>0%</td></tr> </tbody> </table>		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June		0%	0%	0%	0%	0%	0%		July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec		0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June																							
	0%	0%	0%	0%	0%	0%																							
	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec																							
	0%	0%	0%	0%	0%	0%																							

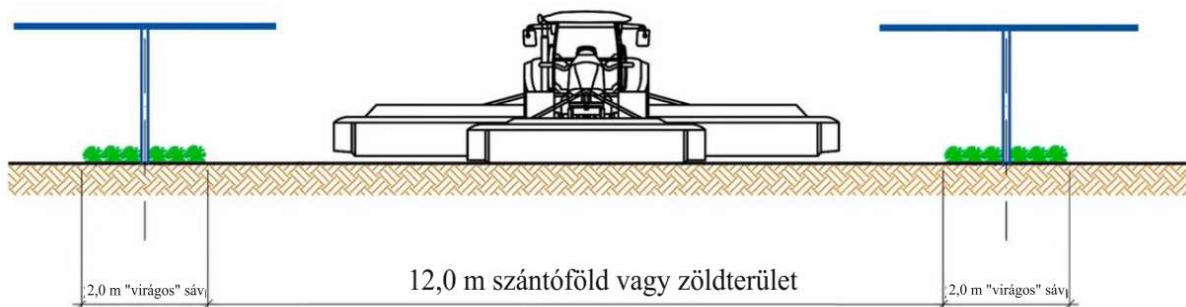
Performance Metrics

DC Capacity Factor	9.3%
--------------------	------

8.4 Napkövető agrofotovoltaikus rendszer teljesítmény- és energiasűrűsége

A napkövető AP-V rendszerek elvi felépítését a 23. ábra szemlélteti példával:

23. ábra. Napkövető AP-rendszer (Kép forrása: EWS Sonnenfeld) (37)



Egytengelyű napkövető AP-V rendszerek energiasűrűségére konkrét ajánlásokat a korábbi fejezetben is említett AgriPV GmbH nevű német cég saját maga által forgalmazott Module B132-HC (670Wp), 2384 x 1303 x 35 mm bifaciális modulával találtam, melyek a 24. ábra táblázatában láthatók. A hektáronkénti energiasűrűség itt is 0,4 MWp körül alakul. Napkövető rendszerek áramtermelésnél a fix rendszerekhez képest ~30%-kal nagyobb energiahozam várható, a karbantartási költség azonban a mozgó részek és a vezérlés meghibásodási lehetősége miatt nagyobb lehet.

24. ábra: Egytengelyű napkövető AP-V rendszer lehetséges paramétereit (Forrás: AgriPV GmbH katalógus) (36)

	Napkövető rendszer		
	10	12	14
Sortávolság (m)	10	12	14
Sorok száma/ ha (100 m-es sorhosszal)	10	8,3	0,1
Teljesítménysűrűség (MWp/ha)	0,476	0,396	0,34
Modulok száma(db/ha)	710	592	507
Várható áramtermelés- Energiasűrűség (GWh/év/ha)	0,804	0,67	0,575

Ahogy a magasított és a vertikálisan telepített bifaciális elemekből álló AP-V rendszerek példáinál, úgy a napkövető AP-V konstrukciók példáinak egyikénél sem éri el a teljesítménysűrűség a szabad állású napkövető rendszerek fejezet elején említett 0,59 MW_{DC}/hektár referenciaértékét, a növénytermesztésre rendelkezésre álló terület, továbbá a gépi művelési lehetőségek azonban a modulsorok sortávolságának a növelésével egyre javulnak.

9. Következtetések, javaslatok

Magyarország villamosenergia fogyasztási igényét nem fedezi az itthon termelt áram mennyisége, az utóbbi években ~20 000 GWh-nyi áramot importáltunk a szomszédos országokból. Tovább rontja a képet, ha az import áram mennyisége mellé figyelembe vesszük, hogy az itthon termelt, földgázból és atomerőműben előállított áram alapanyaga is külföldről származik, ebből következően a magyar villamosenergia szektor erősen kitett az importnak.

A várható hazai villamosenergia igénnyel kapcsolatos prognosztizációk évi 10%-os fogyasztásnövekedés mellett a fosszilis energiahordozókból történő villamosenergia-előállítás fokozatosan visszaszorulását és a megújuló energia potenciál, különösen a napenergia nagyobb mértékű kiaknázását vetítik előre a nukleáris kapacitások fennmaradása mellett.

A fotovillamos erőművekkel való áramtermelés terjedése az egyik lehetséges része a Magyarországot érintő energiafüggőség problémájának megoldási modelljének, egyben válasz a klímasemlegességi célok részbeni megoldásához. A naperőművek horizontális kiterjedése azonban nagy. Mivel a telepítésük helyét a közcélú hálózat közelsége és az elérhető szabad kapacitások nagyban befolyásolják, előfordul, hogy a beruházásuk zöldmezős beruházásként történik olyan termőföldön, ahol korábban élelmiszer- vagy takarmánytermelési termelést folyt. A magyarországi klímasemlegességi célok eléréséhez felvázolt adatokból arra a következtetésre juthatunk, hogy a további naperőműberuházások megvalósításához további értékes földterületeket kell a művelésből kivonni a jövőben, felvállalva ezzel az élelmiszer kontra áramelőállítás dilemmáját.

A termőföldek értéke elmúlt évtizedekben Magyarországon folyamatosan nőtt. A Föld népessége folyamatosan növekszik, míg az élelmezés biztosítására a termőföldek korlátozottan rendelkezésre álló erőforrásnak számítanak. A globális felmelegedés hatására egyes területek elsivatagosodnak, melyek így ezáltal alkalmatlanná válnak élelmiszer termelésre. A napelemparkok területigényével kapcsolatos magyarországi kutatások szerint a fajlagos fotovoltaiikus kapacitás telepítéséhez szükséges földterület nagysága megawattként átlagosan 2,4 hektár, és a Technológiai és Innovációs Minisztérium a további tervezett naperőművek területfoglalását legfeljebb 7-17 000 hektárra becsli, mely az 5,81 millió hektár jelenlegi termőterülethez képest csekélynek mondható, azonban, mivel Magyarország a nyersanyagban

szegényebb országokhoz tartozik, mindenképpen szükséges az olyan rendelkezésre álló erőforrásokkal, mint a termőföld észszerűen gazdálkodnia, szolgáljon az élelmezési vagy energetikai célokat, mivel mindkét ágazatnál nemzetgazdasági célunk a külföldi országoktól való függőség minél nagyobb arányú csökkentése.

Az agrofotovoltaikus rendszerek a fenti komplex problémára nyújthatnak megoldást. Bár az agrofotovoltaika koncepcióját már az 1980-as években felállították, szükség volt még további évtizedekre, hogy a napelemes ágazat is felfejlődjön arra a szintre, hogy számottevő szerepet tudjon betölteni az áramtermelési mixben.

Az agrofotovoltaika a fotovoltaika kontra növénytermesztés problematikáját komplex módon kezeli, mivel a növénytermesztés és a napelemes áramtermelés térben is időben egyazon területen folyik, így a 2 rendszer hatással van egymásra, ideálisan kialakított konstrukció és növénykultúra termesztése, továbbá megfelelő környezeti feltételek teljesülése esetén a szinergia hatások által erősíthetik is, ellenkező esetben konkurálnak egymással és gyengíthetik egymást, hiszen mindegyik rendszer működéséhez/működtetéséhez a Nap sugárzó energiájára van szükség és mindkét rendszer termelési csúcsa a vegetációs időszak nyári hónapjaira esik.

Az agrofotovoltaikus rendszerek lehetséges konstrukciói a szántóföldi növénytermesztésben nem kiforrott technológiákat alkalmaznak, hosszú távú empirikus adatok és tudományos vizsgálatok még nem állnak rendelkezésre, bár külföldi szakirodalomban számos ígéretes agrofotovoltaikus kutatási projekttel találkozhatunk, és vállalkozó szellemű mezőgazdasági termelők is kísérleteznek az ilyen rendszerek megvalósításával, hogy mezőgazdasági tevékenységüket diverzifikálják.

A jelenlegi mezőgazdasági fotovoltaikus tesztüzemekből származó bizonyítékok azt mutatják, hogy egyes növények, (burgonya, hüvelyesek, szántóföldön termesztett zöldségfélék, gabonafélék, takarmánynövények) alkalmasak a szántóföldi fotovoltaikára, a szélesebb körű elterjedéshez további kísérleti projektekre és kutatásokra lehet még szükség, melyek a magyarországi viszonyokra is adaptálhatók.

Különböző konstrukciójú agrofotovoltaikus rendszerek teljesítmény és energiasűrűségének vizsgálata során megállapítható, hogy azok némileg elmaradnak a szabad állású naperóművek lehetséges egységnyi területre vetített maximális teljesítmény és energiasűrűségétől, azonban - konstrukciótól függően- a beépített kapacitás csökkentésével párhuzamosan nőhet a mezőgazdasági művelésre alkalmas földterület nagysága. Szükséges megtalálni a 2 rendszer

között azt az optimális felállást, melynél a növénytermesztés és az áramtermelés együttes haszna meghaladja a csak egyik vagy csak másik féle hasznosításból származó hasznokat.

Magyarországon jelenleg még nincs megalkotva a szükséges szabályozási háttér az agrofotovoltaikus rendszerek szántóföldi alkalmazhatóságára, bár a Földvédelmi törvényben már kinyilatkoztatásra került a konkrét szabályozási pontok kidolgozására irányuló végrehajtási rendelet megalkotásának szándéka, művelés alatt álló földterületen 0,5 MW-nál nagyobb névleges teljesítőképességű naperőművet nem lehet még üzemeltetni, a naperőművek létesítéséről a szóló jelenlegi hazai jogszabályok pedig pedig nem alkalmazhatók kizárólagosan az agrofotovoltaikus rendszerek telepítésénél.

A leendő szabályozás kapcsán csak reménykedni lehet, hogy nem fog az indokoltnál nagyobb mértékű bürokratikus akadályokat gördíteni a megvalósítás útjába, mindenesetre azt előre lehet vetíteni, hogy a leendő beruházónak, legyen az mezőgazdasági termelő vagy egyéb piaci szereplő, szüksége lesz mind innovációs- mind pedig kompromisszumkészségre az agrofotovoltaikus rendszer létrehozásához és üzemeltetéséhez.

A naperőműveket 20-30 éves élettartammal tervezik, nagyobb volumenű beruházásként ezért szükséges a makrogazdasági feltételek részletes elemzése, melyek bizakodásra adhatnak okot a közeljövőben az agrofotovoltaikus rendszerek létesítését illetően a piaci igények és a szabályozó környezet részéről is.

10. Összefoglalás

Szaktervezésben röviden áttekinttem Magyarország villamosenergia termelését, villamos energiamérlegét és a Nemzeti Energia és Klímaterv modellezési eredményeit a villamosenergia-fogyasztás jövőbeli mértékére és összetételére vonatkozóan. Bemutattam a magyarországi fotovoltaiikus energiahasznosítás közelmúltbéli adatait és az ide vonatkozó távlati terveket. Ismertettem a szántóterületek nagyságának magyarországi változását az elmúlt évtizedekből, valamint elemeztem a napelemparkok fajlagos területi igényét magyarországi viszonyokra vonatkoztatva, figyelembe véve a várható napelemes potenciál területi igényét. Egy rövid történeti áttekintés után a Német Szabványügyi Intézet standard-je alapján bemutattam az agrofotovoltaiikus rendszerek lehetséges csoportosítását és elemeztem a szántóföldi növénytermesztés művelési lehetőségének sajátosságait az egyes konstrukcióknál, esettanulmányokat is felhasználva. Bemutattam az agrofotovoltaiikus rendszerek jelenlegi magyarországi szabályozását és az ide vonatkozó uniós stratégiát és részletesen megvizsgáltam a jövőbeli szabályozást érintő kérdéseket.

Egy fejezetben foglalkoztam az agrofotovoltaiikus rendszerek gazdasági vonatkozásaival, kitértem a beruházási- és üzemeltetési költségtételekre valamint az áramtermelés bevételi vonatkozásaira. Forgalmazói ajánlások és kísérleti rendszerek konstrukcióinak műszaki paramétereiből kiindulva összehasonlítottam az egyes agrofotovoltaiikus rendszer típusok és a szabad állású naperőművek területre vonatkoztatott teljesítmény- és energiasűrűségét.

A dolgozat végén a témával kapcsolatos összefoglaló következtetéseket, javaslatokat fogalmaztam meg.

Irodalomjegyzék és hivatkozások

Agrárgazdasági Kutató Intézet (2009): *Kockázatok és kockázatelemzés a mezőgazdaságban*, 31-55; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/147418118.pdf>

A. Goetzberger, A. Zastrow, A. (1982): *On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation*. International Journal of Solar Energy 1, 55–69. o.

DOI: [10.1080/01425918208909875](https://doi.org/10.1080/01425918208909875)

Garrod, A. Ghosh (2023): A review of bifacial solar photovoltaic applications; *Frontiers in Energy*, 2023 November; Volume 17, pages 704–726; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

DOI: [10.1007/s11708-023-0903-7](https://doi.org/10.1007/s11708-023-0903-7)

URL: https://www.researchgate.net/publication/376228210_A_review_of_bifacial_solar_photovoltaic_applications

DIN SPEC 91434:2021-05; 9-12 o.; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://www.beuth.de/en/technical-rule/din-spec-91434/337886742>

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (2024): *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende*; 4-7 o; 30-36 o; 40-45 o.; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energiewende.html>

Magyar Energetikai és Közmű-Szabályozási Hivatal (2023): *A MAGYAR VILLAMOSENERGIA-RENDSZER 2022. ÉVI ADATAI*; 56.o; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://www.mekh.hu/download/a/19/51000/VER_2022.pdf

M. & G. Bolinger (2022): *Land Requirements for Utility-Scale PV: An Empirical Update on Power and Energy Density*; IEEE Journal of Photovoltaics (Volume: 12, Issue: 2, March 2022), 589-594; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

DOI: [10.1109/JPHOTOV.2021.3136805](https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2021.3136805)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9676427>

Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023. évi felülvizsgált változat kiadvány (2023); 23-36 o.; 46.o.; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://commission.europa.eu/system/files/2023-09/HUNGARY%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20_HU.pdf

Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (2019): *A hazai nagykereskedelmi villamosenergia-piac modellezése és ellátásbiztonsági elemzése 2030-ig különböző erőművi forgatókönyvek mellett*; 173-175 o; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://rekk.hu/downloads/projects/2019_Arampiac_REKK.pdf

Technológiai és Innovációs Minisztérium (2020): *Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig*; 62. o; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://www.banyasz.hu/images/klimapolitika/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030.pdf>

VINCA – Institut für Naturschutzforschung und Ökologie (2023): *Monitoring der Blütenpflanzen auf Blühstreifen der AgriPV-Anlage in Bruck an der Leitha* 3-6. o; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://www.ews-sonnenfeld.com/fileadmin/content/05_pdf/202310_botanikbericht_Sonnenfeld_Endbericht_2023_VINCA.pdf

1. 2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700129.tv>

2. MEKH adatok; Letöltés dátuma: 2024.04.15.;

URL: <https://www.mekh.hu/eves-adatok>

3. MEKH adatok; Letöltés dátuma: 2024.04.15.;

URL: <https://mekh.hu/evkozi-adatok>

4. REPowerEU terv; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

5. Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal); Letöltés dátuma: 2024.04.15.

[URL:https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_hu](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_hu)

6. Európai Klímarendelet; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119>

7. Irány az 55%!” intézkedéscsomag; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4754

8. Fehér Péter (2019): Hazánk mezőgazdasági adottságai és a globális kereslet alakulása; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://danubecapital.hu/blog/hazank-mezogazdasagi-adottsagai-es-a-globalis-kereslet-alakulasa/>

9. KSH: 21.1.1.6. A bruttó hozzáadott érték és megoszlása nemzetgazdasági áganként; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:https://www.ksh.hu/stadat_files/gdp/hu/gdp0006.html

10. KSH: 19.1.1.8. Magyarország földterülete művelési ágak szerint [ezer hektár]; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html

11. FAO: Land use in agriculture by the numbers ; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/>

12. Sepehr Achard (2023): Agrivoltaics: When Solar Power Meets Agriculture; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://www.agtechdigest.com/p/agrivoltaics-when-solar-power-meets>

13. FAO: Integrated Food-Energy System- IFES; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://www.fao.org/energy/bioenergy/ifes/ru/>

14. Kép; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://www.enfsolar.com/pv/mounting-system-datasheet/8286>

15. Kép; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://www.wolfsystem.at/en-at/product-lines/industrial-and-commercial-construction/foundations/concrete-free-foundations>

16. Kép; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://hofgemeinschaft-heggelbach.de/energie>

17. A. Mariacher, R. Musch (2023): *Agri-PV: der Vorteil liegt im Doppelpack*; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://stmk.lko.at/agri-pv-der-vorteil-liegt-im-doppelpack+2400+3853040>

18. A. Mariacher, R. Musch (2023): *Agri-PV: der Vorteil liegt im Doppelpack*;

Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://stmk.lko.at/agri-pv-der-vorteil-liegt-im-doppelpack+2400+3853040>

19: Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://next2sun.com/en/next2sun-and-tep-renewables-push-agri-pv-expansion-in-the-uk-2/>

20. 15/2023. (IV. 19.) AM rendelet az Agro-ökológiai Programhoz kapcsolódó támogatás igénybevételének részletes szabályairól; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2300015.am>

21. Unió napenergia-stratégia (COM/2022/221 final); Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:516a902d-d7a0-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0019.02/DOC_1&format=PDF

22. Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://kormany.hu/hirek/tovabbra-is-a-fo-cel-az-osztatlan-kozos-foldtulajdon-felszamolasa>

23. 2013. évi V. törvény a Polgári Törvénykönyvről; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300005.tv>

24. 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700086.tv>

25. 273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700273.kor>

26. 382/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a villamosenergia-ipari építésügyi hatósági engedélyezési eljárásokról; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700382.kor>

27. Napkövető napelemes rendszer; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: https://napelem.blog.hu/2018/01/26/napkoveto_napelemes_rendszer

28: Gajdics Á-EMLA Egyesület (2021): *A napelem-beruházások jogi háttere c. előadásanyag*; Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL:https://archiv.budapest.hu/Documents/nappal_hajtva/3_EMLA_Nappal%20hajtva_Bp%20projekt_vegleges.pdf

29. 299/2017. (X. 17. Korm. rendelet; (METÁR rendelet); Letöltés dátuma: 2024.04.15.

URL: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1700299.kor>

30. Letöltés dátuma: 2024.01.31.

URL: <https://www.wienenergie.at/privat/produkte/strom/>

- 31: Renewable Energy Certificate System; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_Energy_Certificate_System
32. J. Svarc (2024): *Most efficient solar panels (2024)*, *Clean Energy Reviews*; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
33. Max Trommsdorff, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2020): *Performance Indices for Parallel Agriculture and PV Usage - Approaches to quantify land use efficiency in agrivoltaic systems* előadásanyag; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/09/07_M.-Trommsdorff_A-PV_T13-Workshop.pdf
34. Kép; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://electrek.co/2023/12/23/us-first-vertical-agrivoltaics-system/>
35. Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://next2sun.com/en/start-of-construction-of-an-innovated-agro-photovoltaic-open-space-plant-in-donaueschingen-aasen-germany/>
- 36: AgriPV katalógus; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://www.agripv.de/en>
37. Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://www.ews-sonnenfeld.com/en/agricultural-photovoltaics>
38. Kiss E (2019): *A kétoldalas panelek előretörésének megértése; Magyar Napelem Napkollektor Szövetség internetes oldal*; Letöltés dátuma: 2024.04.15.
URL: <https://www.mnnsz.hu/a-ketoldalas-panelek-eloretoresenek-megertese/>

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kleizer Andrea
A Hallgató Neptun kódja: JRH3ZE
A dolgozat címe: Agrofotovoltaikus rendszerek szántóföldi alkalmazhatóságának lehetőségei Magyarországon
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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


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

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

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Hegyeshalom, 2024. április 19.


Hallgató aláírása

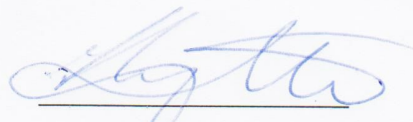
NYILATKOZAT

Kleizer Andrea (Neptun azonosítója: JRH3ZE) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre **javaslom / nem javaslom¹**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Gödöllő, 2024. év április hó 20. nap



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.