

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
Földrajztudományi Központ
Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

Az agrofotovoltaikus rendszerek és hazai potenciáljai

TURAI MARTIN
földrajz alapszakos hallgató

Tudományos Diákköri Dolgozat

Témavezető: Munkácsy Béla



ECSER, 2022

Tartalomjegyzék:

1.	BEVEZETÉS	1
2.	MÓDSZERTAN, KUTATÁSI KÉRDÉS	3
3.	AZ AGROFOTOVOLTAIKUS RENDSZEREK ISMERTETÉSE	4
3.1.	A sorok között elhelyezkedő napelemek.....	5
3.2.	Üvegházak tetején lévő napelemek	6
3.3.	Állványon lévő napelemek.....	7
3.4.	Kétoldalú agrofotovoltaikus rendszerek.....	9
3.5.	Méretezés	10
3.6.	Növényválasztás.....	11
3.6.1.	Árnyéktűrő növények	12
3.6.2.	Napkedvelő növények	13
3.7.	Indikátorok	14
3.7.1.	Talajborítottsági arány (angolul: Ground Coverage Ratio, röviden: GCR)	15
3.7.2.	Területegyenérték-arány (angolul: Land Equivalent Ratio, röviden: LER)	15
3.7.3.	Emberi hőkomfort.....	16
3.7.4.	Ár-teljesítmény arány (angolul: Price Performance Ratio)	16
3.7.5.	Megtakarított vízmennyiség	17
3.8.	A rendszer telepítését ösztönző tényezők.....	18
3.9.	Potenciális területek Magyarországon AgroPV telepítéséhez	20
4.	A VIZSGÁLT FÖLDTERÜLET FELMÉRÉSE	22
5.	EREDMÉNYEK	24
5.1.	A javasolt AgroPV-rendszer	24
5.2.	Országos kitekintés – potenciálok számítása	32
6.	KONKLÚZIÓ & KÖVETKEZTETÉSEK	33
7.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	34
8.	BIBLIOGRÁFIA	35

Ábrajegyzék:

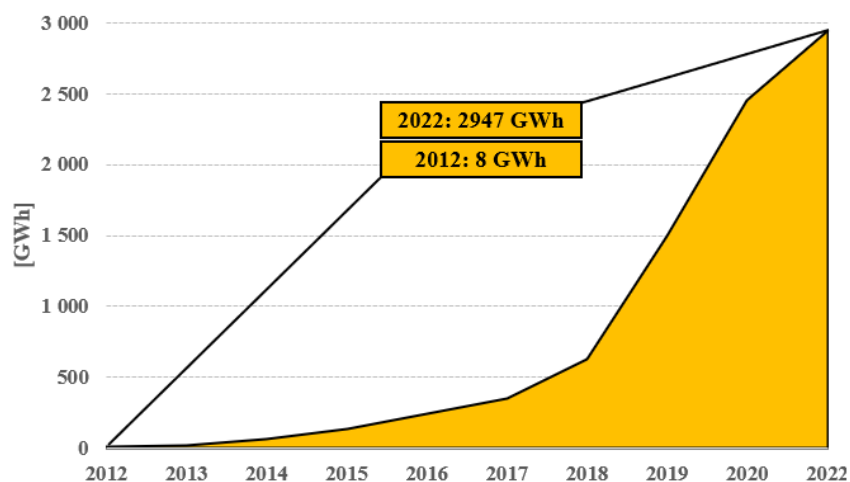
1. ábra:.....	1
2. ábra:.....	5
3. ábra:.....	5
4. ábra:.....	7

5. ábra:	8
6. ábra:	10
7. ábra:	12
8. ábra	16
9. ábra:	18
10. ábra:	21
11. ábra:	23
12. ábra:	24
13. ábra:	26
14. ábra:	27
15. ábra:	29
16. ábra:	29
17. ábra:	31

1. BEVEZETÉS

Jelenleg Földünk olyan változáson megy keresztül, amit korábban ember még nem tapasztalt. A klímaváltozásnak, de leginkább egyik következményének, a globális felmelegedésnek olyan szélsőséges hatásai érződnek, amelyek azonnali cselekvésre készítetik az embert. A szabadföldi növénytermesztés is fokozott figyelmet igényel, hiszen a nagy melegben, a rendszertelen időjárási körülmények között ki vannak téve olyan kondícióknak, amit már a védekező mechanizmusuk ellenére is nehezen vagy éppen sehogy sem tudnak elviselni. Az IPCC harmadik jelentésében ki is jelentette, hogy a földi átlaghőmérséklet – az ipari forradalom előtti időkhöz képest – 1°C -os növekedésének az okozója az ember (IPCC, 2022), ezért kötelessége is ezen változtatni. Már több, az Európai Unió által megszabott cél született ezzel kapcsolatban, amelyek teljesítése érdekében már történtek előrelépések. Egyik legfontosabb, az Európai Unió által elfogadott, az ún. „20-20-20” kezdeményezés, melynek célja az volt, hogy 2020-ig az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását 20%-kal csökkentsék, az energiafelhasználáson belüli megújuló energiaforrások részarányát 20%-ra, valamint az energiahatékonyságot 20%-kal növeljék (Energia Klub, Sajtóreggeli összefoglaló lapok #6). Ezt az Európai Unió sikeresen el is érte (EEA, 2021), ami reménykeltő.

Magyarországra koncentrálva, a 2020-ra kitűzött – és már szintűgy elért – 13%-os megújulóenergia-részarány után 2030-ra 21%-os részarány lett célul kitűzve, amit már kevesebb, mint egy évtized van elérni (EPRS, 2021). Abból kiindulva, hogy Magyarországon a napenergiából megtermelt villamos energia mennyisége az elmúlt 10 évben majdnem négyszázszorosára nőtt (1. ábra), a cél bőven teljesíthető, hiszen még a többi megújuló vagy feltételesen megújuló energiaforrást meg sem említettük.



1. ábra: A napenergiából megtermelt villamos energia mennyisége Magyarországon (2021-es év kivételével). KSH, 2020 és MAVIR, 2022 alapján szerk.: Turai Martin

Továbbá hazánkban a jelen, nagyságrendileg több, mint 3000 MW beépített napelemes kapacitást (telex, 2022) 2030-ig tovább kell növelni egészen 6000 MW-ig (NEKT, 2020). A cél elérése érdekében a kis, háztartási napelemes rendszereken kívül az ipari méretű rendszerek is nagy szeletet tudnának képviselni, mivel több, mint 50 kW teljesítményű rendszerekkel járulnának hozzá az egészhez. Itt fontos megemlíteni, hogy bár fontos a nagyteljesítményű napelemfarmok alkalmazása, ne felejtjük el a nagy területigényüket, ami ebből a szempontból szinte az utolsó helyre teszi őket a megújuló energiaforrások között (Jessica L. et al., 2022). Több napelemfarmot olyan földterületekre telepítettek, amelyek jó termőképességgel rendelkeznek, de ebből fakadóan kihasználatlanok maradnak. Ezt jól illusztrálja Kaposvár, ahol 2021-ben megépült Magyarország legnagyobb, 100 MW-os napelemparkja, ennek következményeként az azon a területen (a Google Earth Pro szoftervben végzett mérés alapján ~205 hektár) folytatott földműveléssel felhagytak (pv-magazine, 2020). Még ha a klímaváltozást nem is vesszük figyelembe, akkor is a Föld lakosságának évi 1,15%-os növekedésével (ENSZ, 2014) párhuzamosan növekszik a megtermelt élelmiszer és energia mennyisége, ami viszont idővel több földterület ezekre a célra való felhasználását kívánja maga után. Bármennyire is fontosak a megújuló energiaforrások – jelen helyzetben a napenergia felhasználása – egyszerűen nem célszerű olyan területeket számításba venni, amelyek már mezőgazdasági használat alatt vannak, mert ez csak tovább erősítené az élelmiszer- és az energiatermelés közötti versenyhelyzetet.

Erre a problémára már az 1980-as években találtak egy megoldást, melyet Adolf Goetzberger, német fizikus és Armin Zastrow, kutatási asszisztens közösen alkottak (Jain et al., 2021). Az adott földterület kettős használatára helyezték a hangsúlyt, ami a mezőgazdasági és az energetikai célok egyidejű megvalósítását jelenti, azaz a növénytermesztés mellett a napelemek villamos energiát állítanak elő. Ezt hívják agrofotovoltaikus rendszernek (angolul: agrophotovoltaic).

2. MÓDSZERTAN, KUTATÁSI KÉRDÉS

Véleményem szerint a megújuló energiaforrások minél nagyobb, de egyben fenntartható módon való integrálása az energiamixbe elengedhetetlen. Az agrofotovoltaikus-rendszerek még gyerekcipőben járnak, de számos példamutató alkalmazás történt már szerte a világon, ami bebizonyítja azt, hogy ez egy működő és fenntartható alternatíva az étel- és energiatermelés szempontjából.

A témával először társszerzőként, az Energiaklub 2022-ben megjelent tanulmányában (címe: Csak nappal! Csak nappal? – avagy a napelemes áramtermelés jövője Magyarországon a területhasználat nézőpontjából) kezdtem el foglalkozni. Ezután magával ragadott a téma és már 2022 nyarán elkezdtem a szakirodalmak tanulmányozásával a kutatásom, ami megadta a löketet, hogy tovább folytassam a munkát és vizsgáljam ezt a témát. A téma minél mélyebbre ásása után egyre nagyobb rációt láttam benne és felmerült bennem a kérdés, – ami a kutatási kérdéseket is lefedi – hogy vajon Magyarországon egyáltalán mennyire ismert, lehet-e itthon alkalmazni és ha igen akkor hol és miért. Annak okán, hogy a sokféle agrofotovoltaikus-rendszert tulajdonképpen kisebb-nagyobb sikerrel minden élelmiszer- és energianövényen lehetne alkalmazni, – ami szinte végtelen megoldási lehetőséget kínál – mindenképpen szükséges leegyszerűsíteni a vizsgálódást. Éppen ezért jelen kutatás csak egy konkrét szántóföldet vesz górcső alá és vizsgálja meg az ott termő növényeken, annak érdekében, hogy javaslatot tudjon tenni a jövőben egy potenciális agrofotovoltaikus-rendszer kiépítésében azon a területen. Ezen kívül a kutatás országos szinten is felméri az agrofotovoltaikus-rendszerek telepítésére szolgáló alkalmas földterületeket és többféle potenciál számítás segítségével mutatja be az eredményeket.

Jelen kutatás ezt a rendszert, az ehhez tartozó kérdéskört és a vizsgálódás folyamatát, eredményét tárja fel részletesen. A kutatást több külföldi szakirodalom alapozta meg, melyekben a rendszer ismertetésén kívül szó van annak fizikai valójában lévő alkalmazásáról vagy annak virtuális, szoftverek segítségével történő modellezéséről. Kiemelendő forrás a 2020. októberében, a Fraunhofer ISE által publikált útmutató, melynek címe: Agrivoltaics: Opportunities For Agriculture And The Energy Transition, és amely nem csak körbejárja az agrofotovoltaikus rendszerek fajtáit, jellemzőit, hanem ismerteti a már tervezett és megépült rendszereket Németországban. Jelen kutatás erős alapját e tanulmány képezi. Azóta megjelent egy újabb, 2022-es kiadása a dokumentumnak, de a késői megjelenés és az ebből adódó szűkös

határidő miatt továbbra is a 2020-as útmutatót vettem alapul. Emellett több, hazai napelemes projekt résztvevőjével, illetve hazai és külföldi kutatókkal, is sikerült konzultálni, interjút készíteni annak érdekében, hogy minél részletesebb képet tudjon mutatni a kutatás az agrofotovoltaikus rendszerről és a hazai potenciálokról. Az információszerzés jelenléti, illetve online interjúk formájában valósult meg.

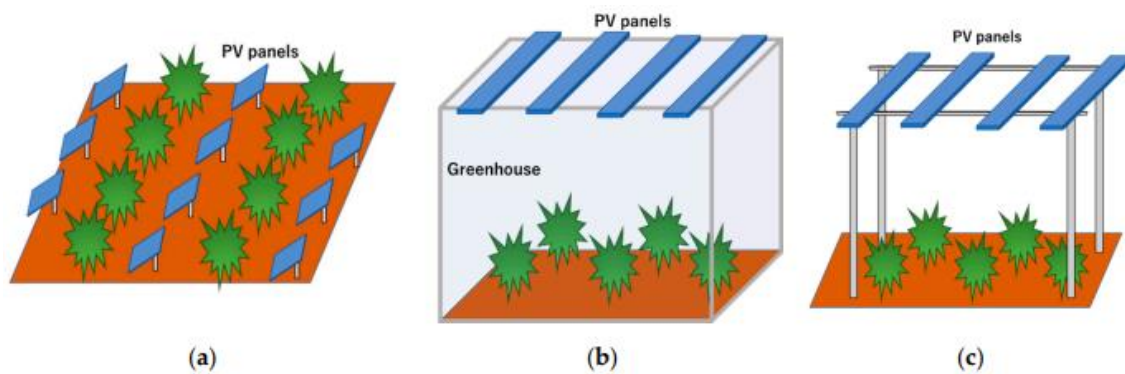
Bár magyar nyelvű tudományos szakirodalom nincs az agrofotovoltaikus rendszerekkel kapcsolatban és a köztudatban semennyire, vagy csak nagyon szerény mértékben van elterjedve, külföldön ennek a tárháza sokkal tágabb tudományos iratok és alkalmazások terén is, így a szakirodalmi tájékozódás ebből a szempontból nem ütközött akadályba. Fontos leszögezni, hogy jelen kutatás nem foglalkozik az ún. *rangevoltaic* rendszerekkel, ami a napelemek és az állattartás kombinációját jelenti.

Mindössze két hazai napelemes, egy salátatermesztő cég és összesen 7 személy szánta rám az idejét és nyújtotta segítségét. Bár több hozzáértő személyt is felkerestem – beleértve a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent János Campusán oktató tanárokat is – de személyes megkeresésük után sem kaptam tőlük választ.

3. AZ AGROFOTOVOLTAIKUS RENDSZEREK ISMERTETÉSE

Ma, a világon mezőgazdasági célokra felhasznált földterület majdnem hatszorosa annak, amit az 1900-as évek elején használtak (HYDE, 2017), tehát elmondható, hogy korábban a növekvő étel és energia mennyiségéből adódó területfelhasználás nem vont maga után semmilyen problémát egészen mostanáig. Bár már az 1980-as években megszületett az ötlet, a köztudatban csak 2011-től kezdett el teret nyerni és akkor kapta meg hivatalosan az „agrofotovoltaikus rendszer” (innenről: AgroPV) elnevezést (Jain et al., 2021).

A növénytermesztést és a villamosenergia-termelést egyazon földterületen többféleképpen meg lehet oldani. Először is elkülönít a szakirodalom zárt és nyitott rendszereket (Jain et al., 2021). A zárt AgroPV az üvegházakra felszerelt napelemeket jelenti (2b. ábra), mivel a növényeket egy zárt környezet és sajátos mikroklíma veszi körül. A nyitott rendszerek esetében hasonló módon elkülönít a szakirodalom 2 fajtát. Az egyik alkalmazási lehetőség a növénytörök közötti napelem elhelyezés (2a. ábra), míg a másik a növények felett lévő, állványon elhelyezkedő napelemek (2c. ábra).



2. ábra: Az agrofotovoltaikus rendszerek 3 legismertebb fajtája. **a**, sorok közötti napelemek; **b**, üvegházak tetején lévő napelemek; **c**, állványon lévő napelemek. Kép forrása Sekiyama & Nagashima (2019)

3.1. A sorok között elhelyezkedő napelemek

A köztudatban és a már használatban lévő AgroPV-rendszerek között ez a fajta kevésbé elterjedt, mivel az adott földterületen ez képviseli a legnagyobb részarányt (a földterület 8-10 %-a) (Jain et al., 2021) a többi fajtahoz képest (kivételt képeznek a vertikális AgroPV-rendszerek, lásd: 3.4 alfejezet), illetve több tényezőre is (pl: napelemek egymás árnyékolása) nagyobb figyelmet kell fordítani. Kutatásom során a szűkös elterjedésre pontos választ nem találtam, csak következtetek az olvasott és elemzett szakirodalmakból.



3. ábra: Sorok között elhelyezkedő AgroPV-rendszer. Kép forrása: (Trommsdorff et al., 2021)

Ebben az esetben a növényssorok között lévő teret megnövelik, hogy a napelemeket biztonságosan és minél hatékonyabban lehessen telepíteni, annak érdekében, hogy maximalizálni lehessen a termés hozamot, a termés minőséget és egyben a villamosenergia-termelést. Ez az egyik legfontosabb tényező, hiszen ez határozza meg az adott földterületen lévő növények és napelemek arányát (Trommsdorff et al., 2021). A sorok közti távolság a

növénytől és persze a napsugárzástól függ, ezért általában 6-12 m helyet hagynak két napelemsor között, annak érdekében, hogy azok ne árnyékolják egymást (Coşgun, 2021). Dinesh & Pearce (2016) tanulmányukban egy ilyen rendszert is teszteltek, ahol a napelemek 20 m hosszú sorokban voltak elhelyezve és 1 m szélességben foglaltak el területet. A közöttük elhelyezkedő növénytörzsek esetében viszont a hosszúság nyilvánvalóan megegyezett, de ez viszont 5 m szélességet vett igénybe, így két napelemsor között 6 m volt meghagyva. A napelemek által elfoglalt hely ennél a rendszernél a legnagyobb, hiszen a napelemek a növények közé vannak telepítve és a „park hatást” is belevonva, az adott földterület akár 10%-át is kitehetik (Trommsdorff et al., 2019). A Fraunhofer ISE által telepített, sorok közötti AgroPV-rendszer esetében ez az érték 8% (Jain et al., 2021).

3.2. Üvegházak tetején lévő napelemek

Ebben az esetben a növények egy zárt környezetben fejlődnek, sok tekintetben függetlenek a kinti időjárástól (Jain et al., 2021). Olyan területeken (pl.: szigeteken) lehet ez kifejezetten hasznos, ahol kevés földterület áll rendelkezésre (Dinesh & Pearce, 2016), de persze ezen kívül még több tényező is közrejátszik (pl.: hőmérséklet). A napelemek esetében fokozottan kell figyelni az optimális panelsűrűsége. Korábban erre is volt egy kísérlet, amikor 64%-kal csökkent az éves beérkező napsugárzás a napelemek miatt, hiszen az üvegház tetőfelületének a fele be volt velük borítva. Majd ennek következményeként konkrétan a panelek árnyékában lévő növények évi 82%-kal kevesebb napsugárzást kaptak, ami negatív következményekkel járt a terméshozam és a termésminőség tekintetében (Cossu et al., 2014). A sűrűn elhelyezett napelemek miatt viszont a növények kevesebb vizet párologtattak, ezért 14-29%-os megtakarítást értek el öntözés terén (Marrou et al., 2013). Ezek a rendszerek leginkább Európa délen fekvő országaiban terjedtek el (Cossu et al., 2014), de nagy fejlődést mutat Kína is (Li et al., 2017) a rendszer telepítését ösztönző szabályozások miatt.



4. ábra: Üvegházak tetején lévő napelemek. Kép forrása: Agrinergie, 2019

Fontos itt megemlíteni az átlátszó napelemeket, amik egy bizonyos mértékig képesek átengedni a napsugárzást, ezáltal a növények is részesülnek belőle. A University of Cambridge olyan színezett, részben átlátszó napelemeket fejlesztett ki, amelyek a fény csak bizonyos meghatározott hullámhosszai segítségével képesek villamos energiát előállítani és így a nem érintett spektrumok pedig tovább mennek rajtuk, amelyet a növények fel tudnak használni (Rémi Rauline, 2022). Továbbá a cikk kiemeli, hogy sikerült ezt a fajta napelemet tesztelni a spenót esetében, aminek köszönhetően a fotoszintézis aktivitása 68%-kal növekedett. Félig átlátszó napelemeket használ még eper, ribizli, áfonya és szeder esetében a megújuló energiával foglalkozó holland cég, a BayWa r.e. és leányvállalata, a GroenLeven (Rémi Rauline, 2022). Természetesen az átlátszó napelemeket sorok közötti és állványos rendszerek esetében is lehet használni.

3.3. Állványon lévő napelemek

Ebben az esetben a napelemeket a növények fölé helyezzük el növénytől függő magasságban, ami 2 métertől egészen 7 méterig is terjedhet. Jain (2021) tanulmánya szerint ez a módszer inkább Ázsiában elterjedtebb, ahol gyümölcsstermesztésnél használják, mivel a mezőgazdasági gépesítés ott kevésbé jellemző. Ettől függetlenül több tanulmány is bizonyítja, hogy Európában is nagy szerepe lehetne – még gépesített területeken is – olyannyira, hogy az említett 3 fajta közül ez terjedt el a legjobban (Fraunhofer ISE Guideline, 2020). Ez esetben is nagy szerepe van a panelsűrűségnek, hiszen itt már a magasságon is lehet változtatni ellenben az üvegházakkal, ahol már adott ez a tényező. Az első egyik ilyen állványos alkalmazás, amit hivatalosan jelentettek, Franciaországban volt, Montpellier-ben, ahol 4 m magasban lévő napelemek alatt salátát termesztettek (Sekiyama & Nagashima, 2019). Azóta már Japánban, az

Egyesült Államokban és több európai országban elterjedt (Sekiyama & Nagashima, 2019). Az árnyék tekintetében a magasság is közrejátszik, mivel a magasság növekedésével a növényekre vetülő árnyék sokkal egyenletesebb. (Jain et al., 2021).

Másik fontos tényező az állványok elhelyezése és rögzítése. Több állványos AgroPV-rendszer települt már úgy, hogy beton alappal rögzítették az állványokat a földbe, viszont ez negatívan érintette a talaj vízáteresztő képességét és termőképességét is (Jain et al., 2021), így idővel ezt a megoldást elvetették. A Fraunhofer ISE által publikált útmutató kétfajta alternatívát említ meg, amelyek nem befolyásolják negatívan a talajt. Az egyik esetében kör alakú, rozsdamentes lemezeket rögzítenek a talajban menetes rudakkal, ami nem csak a gyors telepítést garantálja, de a stabilitást, a gyors szétszerelést és az alkatrészek újbóli felhasználhatóságát is (wolfhaus.at).



5. ábra: A fák gyökereihez hasonló állványzat-rögzítés. A kép forrása: Fraunhofer ISE Guideline (2020)

Emellett az állványzat talajban való rögzítése nagyban hasonlít a fák gyökereinek az elhelyezkedésére (5. ábra), ezzel is biztosítva a stabilitást.

A másik alternatíva esetében a cölöpöket az altalaj alacsonyabb szintjéig viszik le, aminek megfelelő teherbírással kell rendelkeznie, hogy elbírja a napelemek súlyát. Fontos számításba venni a talajnedvesség mértékét, a talaj vastagságát stb. a hengerrudak hosszúságának a pontos meghatározásának érdekében. A mechanikai védelem érdekében az állványzathoz alkalmaznak még tömör fémalkatrészeket, amik az állványoktól külön helyezkednek el (angolul: ram protection), és amelyek arra szolgálnak, hogy megvédjék maga az állványzatot – és ezzel együtt a napelemes rendszert – a véletlen ütközésektől (Trommsdorff et al., 2021).

A területvesztés az állványos rendszer esetében általában minimális, 1% körüli, de a Fraunhofer ISE által Heggelbach-ban telepített rendszer esetében mindössze 0,23% (Trommsdorff et al., 2021). Természetesen a teljes életciklust tekintve ez a rendszer abból a szempontból problémás, hogy az állványzatot Kínában gyártják (Agostini et al., 2021), ami több ezer km-t utazik, hogy felhasználásra kerüljön (Agostini et al., 2021). A beruházás szempontjából ez a fajta alkalmazás a legköltségesebb az állványok miatt, ami akár a teljes AgroPV-rendszer árának a harmadát is kiteheti (Agostini et al., 2021), beleértve a gyártási, szállítási és javítási költségeket. Emellett ezek a termékek kifejezetten ehhez a rendszerhez vannak kifejlesztve, megtervezve, emiatt nem helyettesíthetők akármilyen fémből készült állvánnyal.

3.4. Kétoldalú agrofotovoltaikus rendszerek

A kétoldalú napelemek esetében a napelem az első és hátsó oldalán is képes villamos energiát előállítani, ezzel sokkal hatékonyabb az egyoldalú napelemekkel szemben. Az állványokon elhelyezkedő és a növénsorok között lévő napelemeknél is alkalmazható, hiszen bizonyos mennyiségű fény visszaverődik a talajról, ami aztán felhasználható. Ebben az esetben fontos számolni az albedóval, a talaj fényvisszaverő képességével, mivel ettől függ a megtermelt villamos energia mennyisége (Jain et al., 2021). Emiatt fontos a talaj homogenitása a színek tekintetében, ezért olyan növényeket kell alkalmazni, amelyek lehetőleg minél világosabbak és egységesebbek, így pontosabb lehet a visszaverődő fényből megtermelt villamos energiát megbecsülni. Ez olyan rendszerek esetében fontos, ahol vagy a sorok között vagy az állványok tetején vannak bizonyos dőlésszögben a napelemek elhelyezve.

Kivételt képeznek az ún. **vertikális napelemes** rendszerek, ahol bár tartószerkezetben vannak a napelemek, de azoknak az oldalán, függőleges helyzetben (K-NY-i tájolásnak megfelelően). Ez a mezőgazdasági gépek akadály nélküli mozgását teszi lehetővé, hiszen a földterületen csak pár cm vastag napelemsorok helyezkednek el. Tulajdonképpen kerítésként is szolgálhat (Riaz et al., 2019). Fontos még kiemelni, hogy a vertikális elhelyezés miatt kevesebb por marad meg rajta, emiatt a takarítása is kevesebb gonddal jár (Jain et al., 2021).

A költség tekintetében a napelempanelek többbe kerülnek, de az 5-15%-kal nagyobb villamosenergia-hozamnak köszönhetően a megtérülés gyorsabb (Trommsdorff et al., 2021). Az állvány szempontjából nincs szükség nagy és hosszú méretekre, ezért ebben a tekintetben kevésbé költséges a nagyobb méretű állványos rendszerekhez képest.



6. ábra: Vertikális AgroPV-rendszer. Kép forrása: Fraunhofer ISE Guideline (2020)

A Fraunhofer ISE 2020-as útmutatójában szereplő példa a 2016-ban, Heggelbach-ban telepített, 194 kW kapacitással rendelkező, 5 m magasban elhelyezkedő, **kétoldalú AgroPV-rendszer**, amelynél 2017-ben és 2018-ban 60-84%-os hatékonyságnövelés volt megfigyelhető a földterület kihasználtsága szempontjából. A napelemes rendszer alatt búzát, burgonyát, zellert és lóherét termesztettek és a megtermelt villamos energia elég 62 négy személyes háztartás villamosenergia-igényének kielégítésére. Ez számokban kifejezve 245,6 MWh villamos energiát jelentett a 2017-es évre, míg ez az érték 2018-ban 249,9 MWh volt. Ezenkívül a nagyobb felület miatt akár 25%-kal több villamosenergiát lehet előállítani, de ez az érték általában 5-15% között van. Kiemelendő még, hogy a kétoldalú napelemek esetében megnövelt a biztonság, hiszen a panel mindkét oldalán kemény üvegfelület helyezkedik el, emiatt jóval strapabíróbbak.

3.5. Méretezés

Nehéz számokban megfogalmazni azt, hogy egy AgroPV-rendszernek mekkora az egységteljesítményre vonatkozó területigénye, hiszen nagyon sok tényező befolyásolja egészen az éghajlattól kezdve a kiválasztott növényen át a mezőgazdasági módszerekig. Léteznek kisebb rendszerek Japánban, ezek nagyjából 30-120 kW teljesítményűek, de Kínában található több száz megawattos AgroPV-rendszer is (Fraunhofer ISE Guideline, 2020), ami több száz hektár földterületet fed le. A tesztelések, kísérletezések során nyilvánvalóan kisebb

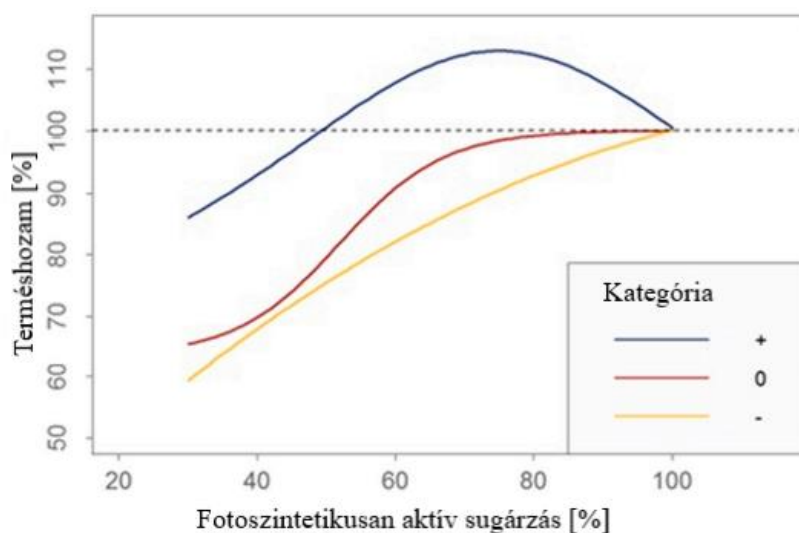
rendszerekkel dolgoznak, de esetleges pozitív visszajelzéseknek köszönhetően ez – a fenn említett tényezők figyelembevételével –tovább bővíthet.

Fontos figyelembe venni a **kiépített villamosenergia-hálózatra való csatlakozás lehetőségét**, illetve az **emberi szempontokat**, amik hatással lehetnek a rendszer valós, fizikai méretének, illetve annak teljesítményének a meghatározásában. Ha a földterületen megtermelt villamos energia szigetüzemben való felhasználása a cél, akkor a hálózat ebben az esetben nem jelent akadályozó tényezőt. Ellenkező esetben felmerül a kérdés, hogy vajon a hálózat fejlettsége megengedi-e azt, hogy gond nélkül betápláljuk a megtermelt villamos energiát. Ezenkívül a villamos hálózat távolsága is fontos, hiszen ha minél nagyobb távolságban szállítjuk az energiát, annál nagyobb veszteség keletkezik. Az emberi befolyásoló tényezőket tekintve a Fraunhofer ISE egy érdekes megállapítást tett, miszerint több, megkérdezett gazda csak abban az esetben lenne hajlandó AgroPV-rendszert alkalmazni, ha a termés hozam nem csökken 80% alá. Ebből lesűrhető az, hogy igény van a rendszer használatára, ahol a méret (sok egyéb faktor mellett) nem feltétlen jelent akadályozó tényezőt, hiszen a gazdának elsődlegesen a termés hozam és az abból származó bevétel a fontos. Szeidl Tamás gabonatermelő a vele készített jelenléti interjú során azt is mondta, hogy vannak olyan gazdák is, akik a napelemekről visszaverődő fényt nem képesek elviselni, emiatt nem támogatják ilyen rendszerek kiépítését. Itt nem az egész napsütötte napszakra kell gondolni, csak egy kis részére, de sokaknak már ez is elviselhetetlen.

3.6. Növényválasztás

A növények kulcsfontosságú szerepet töltenek be nem véletlenül, hiszen tőlük (is) függenek az AgroPV-rendszer paraméterei, illetve maga a rendszer fajtája. Az ebben az esetben végzett mezőgazdasági munkálatok bizonyos mértékig eltérnek a hagyományos földműveléstől, legyen szó a növényválasztáson át, annak gondozásán túl egészen a termőterületen használt különféle gépekről, tulajdonképpen maga a mezőgazdaság formájáról. (Fraunhofer ISE Guideline, 2020). Valójában az AgroPV technológia kiválasztásának egyik kulcskérdése a növényfaj és -fajta árnyéktűrő képessége. Vannak olyan növények, amelyek kevésbé kedvelik a közvetlen, direkt napsugárzást és igényelnek bizonyos mennyiségű árnyékot, de léteznek napkedvelő növények, amik viszont kifejezetten igénylik a közvetlen napsugárzást. Nyilvánvalóan az árnyékkedvelő növények a leginkább alkalmasak az AgroPV-rendszer szempontjából, hiszen a napelemek adta árnyék kedvező hatással bír e növények fejlődésére. Ilyenkor az egyik megvizsgálandó jellemző

a fotoszintetikusan aktív sugárzás (angolul: Photosynthetically Active Radiation, rövidítve: PAR) értéke, amit ha összevetünk az adott növények terméshozamával, akkor 3 csoportba lehet őket besorolni (+; 0; -) (Jain et al., 2021). Ezt a 7. ábra illusztrálja.



7. ábra: A növények terméshozam változása az árnyékintenzitás növekedésének függvényében. Kép forrása: Obergfell et al., (2012)

Vannak olyan növények, amelyek a PAR csökkenésével egy bizonyos mértékig magasabb terméshozamot produkálnak, ezek tartoznak a „+” kategóriába és ez a legalkalmasabb növénycsoport az AgroPV-rendszer számára. Ide olyan növények tartoznak, mint a különféle salátafajták, rukkola, spenót, de még a burgonya is ide sorolható (Jain et al., 2021). A „0” kategóriás növények közé a bogyós gyümölcsöket lehetne sorolni, mint az áfonyát, málnát, epret, szedret stb (Jain et al., 2021). A „-” kategóriába a napkedvelő növények tartoznak, amik már kisebb árnyék hatására is terméshozam-csökkenést generálhatnak. Az egyik legjellemzőbb ilyen növény a kukorica (Jain et al., 2021).

A továbbiakban két alfejezetre tagolva vizsgálom meg és mutatom be a nap- és árnyékkedvelő növényeket.

3.6.1. Árnyéktűrő növények

Nem véletlen, hogy a legtöbb tanulmány ezekkel a növényekkel foglalkozik, mivel egyszerűbb velük a munka, jobban bírják napelemek adta árnyékot (Malu et al., 2017), tulajdonképpen a „+” és „0” kategória tartozik ide.

Az egyik legfontosabb tényező a panelsűrűség, amire kifejezetten oda kell figyelni a terméshozam maximalizálása céljából. Ha több árnyékre van szükség, akkor a napelemeket

sűrűbben, egymáshoz közelebb kell helyezni, de ha éppen kevesebb árnyékra és több napsütésre van igény, akkor ennek az ellenkezőjét kell tenni (Willockx et al., 2020). Azon kívül, hogy megfelelő árnyékot lehet ezáltal biztosítani, a növény vízháztartását, a levegő hőmérsékletét kontroll alatt lehet tartani, ezzel tulajdonképpen egy sajátos mikroklimatikus környezetet létrehozva a növény számára. Mivel a panelek alatt a hőmérséklet alacsonyabb, így a növény kevesebb vizet párologtat el, ezáltal akár 9,4%-kal több vizet megáiban tud tartani (Jain et al., 2021), ami viszont megmagyarázza azt, hogy miért kell kevesebbet öntözni. Mindemellett az utóbb említett hatások az ebbe a kategóriába tartozó növények termés hozamát is pozitív irányba befolyásolják. A Fraunhofer ISE által végzett kutatás Maharashtra államban, Indiában ezt be is bizonyítja, mivel ott a paradicsom és a gyapot esetében 40%-os termés hozam-növekedést értek el az árnyék és az ebből adódó kevesebb párologtatás miatt. Az első hivatalosan is bejelentett, teszt alatt lévő állványos AgroPV-rendszer (Montpellier-ben) is árnyéktűrő növényt, salátát alkalmazott először (Sekiyama & Nagashima, 2019).

3.6.2. Napkedvelő növények

A napkedvelő növények jobban ki vannak téve az árnyékból adódó termés hozam-csökkenésnek, emiatt alapos tervezést és figyelmet igényelnek. Ilyen növény a kukorica, görögdinnye, rizs, uborka stb., amik már minimális árnyék hatására sokkal kevesebb termés hozamot produkálnak. Ez nagy mértékben függ a választott növény fajtától, illetve fajtájától, de vannak ellenpéldák, ahol el lehet érni termés hozamnövekedést napkedvelő növények esetében is.

Napkedvelő növények otthonául jó példának szolgál India, ahol a primer szektor dominál, a mezőgazdasági tevékenységeknek nagy szerepe van (Chhablani J, 2012). Az indiai Központi Villamosenergia-hatóság szerint 2014-ben az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás 1010 kWh volt, emiatt elmondható, hogy csak az országban elterjedt gyümölccsel, a **szőlő**vel együtt alkalmazott AgroPV-rendszerek alkalmazása 15,8 millió lakos villamosenergia-igényét (16000 TWh) tudná fedezni (Malu et al., 2017), ezáltal hozzájárulva olyan térségek energiaellátásához, amelyeknél másképpen nem lehetne megoldható.

Több, már használatban lévő rendszert telepítettek, ahol a felhasznált növény a már említett szőlő volt, amiről tudni illik, hogy kifejezetten napkedvelő növény. Ezek a szőlőültetvények leginkább Maharashtra állam északnyugati részén jellemzőek, ezt a térséget India szőlőfővárosának is szokták nevezni (Discovered India, Nashik, n.d.). A szőlőnek általában

napi 7-8 óra direkt napsugárzás szükséges ahhoz, hogy megérjen (GAF Contributor, 2015) és mivel a betakarítási szezonban ez az érték majdnem napi 11 és fél óra (timeanddate.com, 2017), ezért elmondható, hogy ekkor a szőlő képes az árnyék bizonyos szintig való tolerálására. A betakarítási szezon szőlőfajtától függ, így tulajdonképpen Indiában az év minden hónapjában történik valamilyen fajtánál betakarítás (Agrifarming, n.d.). Maharastra esetében ez februárban kezdődik és egészen áprilisig tart (National Committee for Plasticulture Applications in Horticulture (NCPAH), n.d.). Fontos kiemelni, hogy ezek az értékek Indiának csak az említett részére vonatkoznak, régióként és országonként ezek eltérőek.

Másik jó példa Sekiyama & Nagashima (2019) tanulmánya, amelyben a **kukoricát** vették górcső alá: hogyan reagál a kifejezetten napkedvelő növény a napelemek adta árnyékra. A vizsgált projektben egy 100 m² területű állványos AgroPV-rendszert vizsgáltak. A területet három részre osztották fel, amelyből az egyik volt a referencia terület, a második az állványos napelemes rendszer, ritkábban elhelyezett panelekkel a több napsütés érdekében, míg a harmadik terület részre a paneleket egymáshoz közelebb helyezték el, ezzel több árnyékot adva a növénynek. A vizsgálat eredményeként a második terület adta a legnagyobb terméshozamot, összesen 4,9%-kal több termést adott a referencia területhez képest. A harmadik terület, a sűrűbben elhelyezett napelemes rendszerrel 3,1%-kal kevesebb termést hozott a referencia területhez képest. A villamosenergia-hozam a sűrűbben elhelyezett napelemek esetében kétszer annyi volt, mint a ritkábban elhelyezett napelemeknél, mivel az egyik esetben 24, a másik esetben 48 panelt használtak. Innentől kezdve a gazdára van bízva, hogy melyik opciót választja, a sűrűbben elhelyezett rendszert 3,1%-os terméshozam-csökkenéssel, vagy a ritkábban elhelyezett rendszert a 4,9%-os terméshozam-növekedéssel. Elmondható tehát, hogy a napkedvelő növények esetében is lehet gazdaságosan alkalmazni ezt a rendszert. Emellett fontos megemlíteni a klímaváltozás okozta melegebb és szárazabb nyarakat is, amiket már ezek a növények is egyre kevésbé tudnak elviselni, emiatt ilyen esetekben is egyre inkább indokolt lehet AgroPV-rendszer használata.

3.7. Indikátorok

Egy AgroPV-rendszer tervezésénél elengedhetetlenek a különféle indikátorok, mutatók, hiszen egyszerűen szükség van olyan jellemzőkre, olyan számokra, amelyek megmondják, hogy:

- a földterület hány százalékát fogja napelem borítani,
- a becsült, megtermelt energia mennyi lesz,

- mennyi idő alatt termeli vissza a befektetett tőkét,
- a növény terméshozama milyen tendenciát fog követni, illetve milyen volumenű lesz,
- mennyire védi a növényt a szélsőséges időjárási tényezőkkel szemben (az okozott kár költségének függvényében),
- a rendszerhez esetlegesen szükséges állványzat költsége, ellenállóképessége, életcikluselemzése, hatása a növényekre mennyi lesz,
- a területhasználat hatékonysága a kettős használatból adódóan milyen lesz,
- a gazda közérzetét hogyan befolyásolja,
- mennyi esővizet lehetne elraktározni az adott AgroPV-rendszerrel egy bizonyos idő alatt

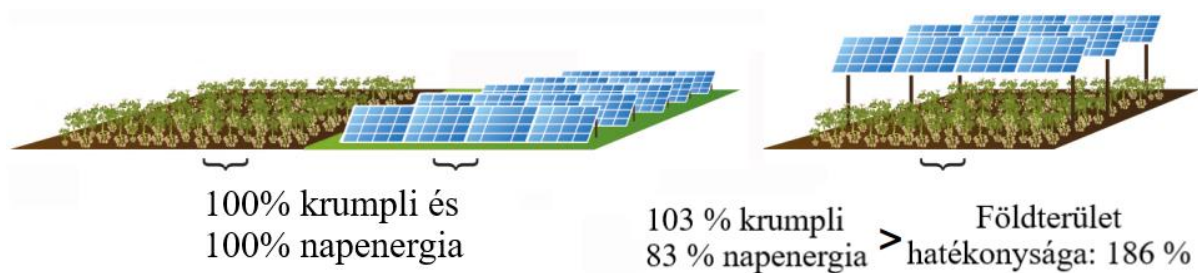
és még más hasonlóan fontos információ. Ebben az alfejezetben 5 fontosabb indikátort fogok bemutatni és részletezni, amihez az alapot Jain et al. (2021) és Trommsdorff et al. (2021) tanulmánya adta.

3.7.1. Talajborítottsági arány (angolul: Ground Coverage Ratio, röviden: GCR)

A GCR az egyik legjelentősebb indikátor. A napelemekkel fedett terület és a bevetett terület hányadosa adja meg az értéket, vagyis $GCR = A_{pv}/A_{ground}$. Ha ez az érték magas, tehát minél közelebb van az 1-hez (100 %), annál több a napelemekkel takart terület és így a megtermelt villamos energia is, viszont ez annál több árnyékkal jár, ami a terméshozam csökkenésében nyilvánulhat meg. Ha viszont az érték a 0-hoz közelít, akkor a kevesebb napelem miatt a megtermelt villamos energia kevesebb lesz, ami kevesebb árnyékkal is fog járni (Jean et. al., 2021).

3.7.2. Területegyenérték-arány (angolul: Land Equivalent Ratio, röviden: LER)

A földterület egyszerre két célra való felhasználása a területhasználat hatékonyságnöveléséhez vezet (8. ábra), az LER mutatóval ennek mértékét lehet érzékelteni.



8. ábra A földterület hatékonysága a kettős használatból eredően. Kép forrás: Fraunhofer ISE

Guideline, 2020

Képlete: $LER = \{E(Y_{agri,AV}/[E(Y_{agri,N})])\} + (Y_{el,AV})/Y_{el,AV}$. Az E az adott termés gazdasági értékét jelenti, attól függően, hogy milyen minőségű (pl.: egy ép gyümölcs többet érhet, mint 100 sérült gyümölcs). A Y_{agri} a terméshozamot jelenti (kg/ha) agrofotovoltaikus-rendszer (AV) használatával és anélkül, normál (N) körülmények között. Az Y_{el} pedig a megtermelt villamos energiát jelenti szintűgy AgroPV és normál helyzetben. Ha az LER értéke nagyobb, mint 1 (100 %), akkor sikerült növelni a földterülethasznosítás-hatékonyságát az agrofotovoltaikus-rendszerrel a normál műveléshez képest. Ha ez az érték kisebb, mint egy, akkor az AgroPV-rendszer alkalmazása csak rontja a földterület hatékonyságát (Dupraz et. al., 2011)

3.7.3. Emberi hőkomfort

Fontosnak tartom megemlíteni ezt a mutatót, hiszen azokon a földeken, ahol nem mezőgazdasági gépek, hanem a gazdák, a farmerek saját maguk végzik a fizikai munkát, a közérzet nagyon fontos. A napelemek adta árnyék a hőstressz ellen nagy védelmet nyújt és ennek számszerűsítésében segít ez a mutató (angolul: human comfort). A Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) segítségével lehet kifejezni, ami a hőstresszre fókuszál közvetlen napsugárzás alatt figyelembe véve több tényezőt, mint a levegő páratartalma, hőmérséklet, a napsugárzás beesési szöge stb. Mértékegysége a Kelvin (K), de lehet Celsius (°C), illetve Fahrenheit (°F) (Jean et. al., 2021).

3.7.4. Ár-teljesítmény arány (angolul: Price Performance Ratio)

Ez a gazdasági indikátor megmutatja, hogy az AgroPV-rendszerünk mennyire hozza vissza a befektetett tőkét. Képlete: $ppr = p/pb$, ahol a p az éves extra költsége egy AgroPV-rendszernek

egy átlagos napelemfarmhoz képest. A pb pedig az éves bevétel a földterület megőrzéséből és az eladott termékekből. Ha a ppr értéke nagyobb, mint 1, akkor az AgroPV-rendszer kevesebb bevételt termel, mint amennyit rá kell költeni, nem éri meg annak fenntartása. Ha az értéke 1, akkor a bevétel nem változott, pusztán diverzifikáltabb lett, azaz nem csak egy, hanem két helyről érkezik a gazdának bevétel. Abban az esetben, ha az érték kisebb, mint 1, akkor az AgroPV-rendszer profitot termel, megérte annak telepítése (Schindele et al., 2020).

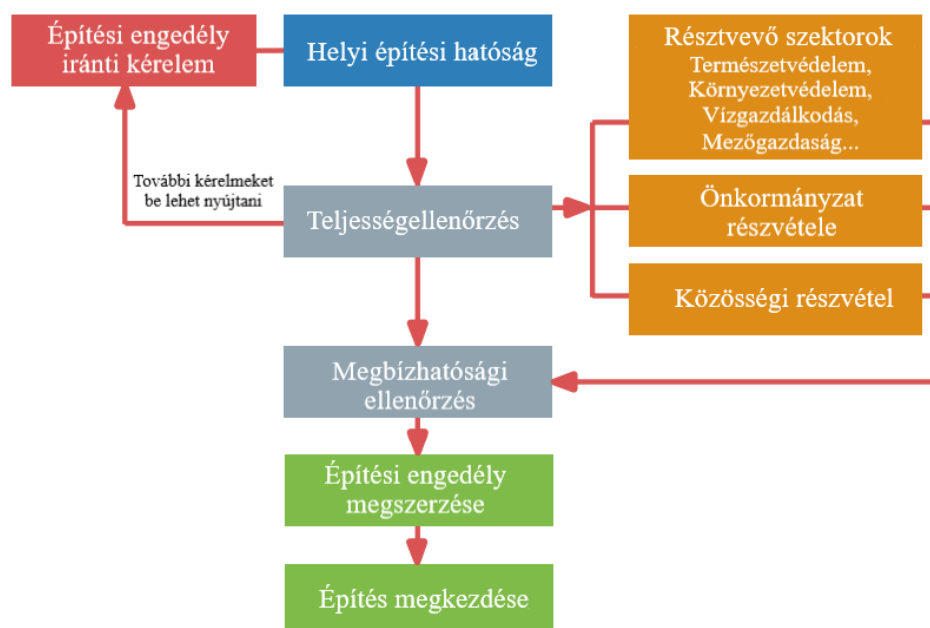
3.7.5. Megtakarított vízmennyiség

Az AgroPV-rendszereknek nagy előnyük, hogy képesek bizonyos mennyiségű vizet megspórolni aktív és passzív módon. Aktív folyamatnak a víz tárolását tekintjük, ami azt jelenti, hogy a döntött napelemek aljára egy csatornát rögzítenek, ahonnan a víz eljut a víztározóig, ezáltal a panel széle alatti földterület abban a vonalban nem fog felázni. Ez nem vonatkozik a vertikálisan elhelyezett rendszerekre, hiszen ott ez nehezebben kivitelezhető. A tárolt vizet később ivóvízként, a napelemek tisztítására vagy a növények öntözésére is fel lehet használni és csak vízgyűjtő csatorna, PVC csövekből álló keringtető rendszer és egy víztározóra van szükség. Az eszközök villamosenergia-igényét a napelemek által megtermelt energiával lehetne fedezni, ezzel egy önfenntartó rendszert létrehozva. Itt a szakirodalom nem adott meg mértékegységet, de véleményem szerint egy „liter/hektár” mértékegység megadható. Természetesen ez nagy mértékben függ a csapadékos napok számától és intenzitásától (Jean et. al., 2021).

A víz spórolásának passzív folyamata a napelemek árnyékoló hatásának köszönhető. A napelemek alatt szinte egy sajátos mikroklíma alakul ki, a hőmérséklet pár Celsius fokkal hűvösebb, ami miatt az evaporáció mértéke kevesebb lesz (Dinesh & Pearce, 2016). Ezt százalékos értékben kifejezve meg lehet mondani (pl.: az adott növényfaj a napelemek alatt 22 %-kal kevesebb vizet igényelt az év folyamán).

3.8. A rendszer telepítését ösztönző tényezők

Az AgroPV-rendszer Magyarországon még szinte ismeretlen, de külföldön is még csak gyerekcipőben jár. Az elterjedéshez nem elég csak az egyik fél akarata, be kell vonni a gazdát, a napelemmel foglalkozó céget vagy külső beruházót, illetve az állam hozzájárulása, támogatása is fontos tényező. Mivel az AgroPV egy interdiszciplináris, több ágazatot érintő beruházás, a mezőgazdasági és az energia szektor, illetve a hálózatzüzemeltető, az önkormányzatok, a polgárok bevonása és a közöttük lévő kommunikáció elengedhetetlen. Mindez segít a konkrét terv pontos elkészítésében, egy hatékonyan és fenntarthatóan működő, decentralizált rendszer kialakításában. Hiába nyitott arra a gazda, hogy a földjén egy AgroPV-rendszert telepítsenek, ha az állam bizonyos jogszabályok révén nem támogatja az ilyesfajta beruházásokat, illetve nincs olyan személy vagy cég, aki ezt kivitelezné. A félreértések elkerülése és a pontos kivitelezés végett a bevont személyek többszöri találkozója, egyeztetése akár workshopok formájában is történhet, ami elősegíti a hiba nélküli AgroPV beruházás létrejöttét. A 9. ábra az AgroPV telepítésének előkészítési folyamatát mutatja be, milyen utakon kell keresztül menni és milyen szektorok, intézmények és emberek hozzájárulása szükséges, ahhoz, hogy egy ilyen rendszert telepíteni lehessen.



9. ábra: Egy példa egy AgroPV-rendszer telepítésének az előkészítési folyamataira. Eredeti kép forrása: Fraunhofer ISE Guideline, 2020

Hazai körben is kíváncsi voltam a gazdák véleményére, hozzáállására a témával kapcsolatban, ezért ebben is Szeidl Tamás, ceglédberceli gazdálkodó volt segítségemre. Ő nyitott lenne egy AgroPV-rendszer tesztelésére és alkalmazására annak ellenére, hogy az interjú készítése előtt még nem is ismerte, mivel ő is tapasztalja a terméshozam-csökkenést az elmúlt években. Hozzátette, hogy a 2022-es nyár az átlagnál jobban megviselte növényeit, amit az ismerettség körében lévő többi gazda alá is támaszt, hiszen az ő növényeik is áldozatul estek a már kibírhatatlan hőségnek.

Magyarországon a termőföld védelméről szóló, 2021-es törvénymódosításban szerepet kaptak az agrofotovoltaikus rendszerek, miszerint ezek alkalmazása a termőföldön abban az esetben engedélyezett, *„ha nem akadályozza az alatta fekvő területnek művelési ág szerint termőföldként történő hasznosítását”* (NAK, 2021). Önmagában már pozitívnak tekinthető az, hogy hazai, kormányzati szinten megvan említve a rendszer (lásd: NAK, 2021), de más országok (Németország, Kína) ösztönző cselekedeteihez képest ez egyáltalán nem elég.

Kínában nagy szerepe van mind a mezőgazdaságnak, mind a napelemeknek. A napelemes iparág kínai oldálának a 80%-át Kína teszi ki, miközben a keresleti oldal mindössze 40%-át fedli le (IEA, 2022). 2012 óta Kínában az egyik leginkább feltörekvő iparaggá nőtte ki magát az ezt ösztönző támogatási irányelveknek köszönhetően (Xue, 2017). A sok közül ilyen például a 2013-ban, a kínai Nemzeti Energiaügyi Hivatal és a Kínai Fejlesztési Bank által meghozott irányelv, miszerint a villamos hálózathoz közeli háztartási és ipari napelemes rendszerek telepítését kívánók speciális pénzügyi támogatásban részesülnek (Xue, 2017). A mezőgazdaságban tett intenzív támogatások mellett (United States Department of Agriculture, 2013) az AgroPV-rendszerek térnyerése nem ütközik akadályba, ezt több ottani alkalmazás is alátámasztja.

A Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Európa legnagyobb napenergia kutató intézete Freiburgban, Németországban található és az államon kívül ők is segítenek azoknak a személyeknek, akik AgroPV-rendszert szándékoznak telepíttetni az országban. Az országban van igény ilyen rendszerek alkalmazására, aminek egyik oka a klímaváltozás, emiatt is sok gazda szánja el magát és vág bele ilyen beruházásokba, amit viszont a kormányzat támogat. David Böhm, a Fraunhofer ISE kutatási asszisztense is alátámasztja az utóbbi állítást, miszerint kereslet van a rendszerre. Vannak esetek is, amikor ők keresnek fel gazdákat és javasolják az AgroPV-rendszer telepítését. Az országban több cég, közösség is jelen van, mint a Baywa r.e., az Agrosolar Europe GmbH vagy a Biodynamic Federation Demeter International (BFDI) (Trommsdorff et al., 2021).

Összességében elmondható, hogy olyan országokban, ahol a mezőgazdaság, illetve a napelemes ipar támogatásban részesül, a motiváció az AgroPV-rendszer telepítése iránt megnő. Ennek több pozitív következménye van az adott országban lévő megújulóenergia-résarány növekedésétől kezdve a decentralizáltságon át a gazda saját jólétéig és mindezek együttesen fogják az adott ország gazdaságának a növekedését kiváltani.

3.9. Potenciális területek Magyarországon AgroPV telepítéséhez

Magyarország az AgroPV alkalmazások terén szinte sehol nem jár, jelenleg egy használatban lévő rendszer sincs – ami publikálva lett volna – azon kívül, hogy engedélyezve van a telepítése (NAK, 2021), de elvétve történtek már kezdeményezések. Az Optimum Solar és a PannonWatt, napelemtelepítéssel foglalkozó hazai cégek szándékoznak a rendszerrel foglalkozni, de még kész termék nem született egyik oldalról sem anyagi gondok, illetve nagy mennyiségű engedélykérek és más papírmunkák miatt, válaszolták kérdéseimre. A két céget a külföldi példák, pozitív visszajelzések motiválták, hogy belevágjanak egy ilyen beruházásba. Szakértelem terén az Optimum Solar nem aggódik, hiszen elmondásuk szerint rendelkeznek elegendő hozzáértéssel és szaktudással, hogy egy AgroPV-rendszert megtudjanak tervezni, majd telepíteni, a végén pedig alkalmazni.

Ahhoz, hogy megnézzük, hogy Magyarország mennyire alkalmas AgroPV-rendszer telepítésére, több szempontot kell figyelembe venni. Jogszabályi oldalról nem ütközik akadályba, mivel – ahogy korábban említettem – a termőföld védelméről szóló törvény szerint a telepítése engedélyezett (NAK, 2021). A rendszer energia oldalára fókuszálva az első az igény felmérése. Természetesen nem kell sokáig keresni a választ, hiszen a 2030-ig kitűzött cél elérése érdekében – miszerint 6000 MW beépített napelemes kapacitást kell elérni napenergia terén – nagy lépés lenne az AgroPV-rendszerek minél nagyobb számban való alkalmazása. Emellett az országban jelen lévő megújulóenergia-résarány növelésében, a decentralizáltság felé való orientálódásban és a klímaváltozás elleni védekezésben is nagy szerepet játszana. A mezőgazdasági szektorban is több olyan tényező van, amire kiemelt figyelmet kell fordítani. Magyarország területe 9 302 256 hektár (KSH, 2019), aminek 54,6%-a (5 081 100 hektár) mezőgazdasági terület (KSH, 19.1.1.8.). Ezen belül kell alaposan megnézni a különböző területeket alkalmasság szempontjából. Ebből egy terület sem esik ki, mindegyiken alkalmazható AgroPV-rendszer. A területek közül is az egyik legfontosabb a gyümölcsös területek, mivel AgroPV-rendszerrel kifejezetten jól párosíthatóak (Jain et al., 2021), ezek a

teljes mezőgazdasági terület mindössze 1,65%-át (83 700 hektár) teszik ki (KSH, 19.1.1.8.). Továbbá fontos kiemelni a szőlőskert, amik 60 200 hektárt, míg a konyhakertek 2900 hektárt tesznek ki (KSH, 19.1.1.8.). A maradék 82%-ot pedig a szántók foglalják el (KSH, 19.1.1.8.). Még az alma esetében is meglehet oldani az AgroPV-használatát, hiszen a rendelkezésre álló napfény mindössze 60-70%-a elegendő lenne a növény számára a várt terméshozam eléréséhez (M. Büchele, 2018). Az utóbbi állítás német területre vonatkozik, de az ország keleti, délkeleti része nem áll messze a magyarországi viszonylatoktól (plantmaps, 2023).



10. ábra: Egy agrofotovoltaikus almáskert illusztrációja. Kép forrása: Fraunhofer ISE Guideline, 2020

Bár vannak szakirodalmak, melyek több gabona (kukorica, búza) esetében is vizsgálják az AgroPV-rendszert, a tapasztalatok, illetve a példák száma messze eltér a leveles zöldségekkel és gyümölcsökkel alkalmazott példáktól. Éppen ezért először csak a konyhakertek, a szőlővel borított területek, illetve a gyümölcsösök esetében (területük összesen 146 800 hektár) lenne szerencsésebb az AgroPV-rendszer telepítése.

AgroPV-rendszerek átlagteljesítményét megállapítani nem könnyű, hiszen minden esetben, még akár egy adott gyümölcsösön belül is több AgroPV-alkalmazás történhet, ami kihat az egy hektárra vetített teljesítményre is. Az átlaghoz leginkább közeli érték meghatározásához egy állványos példát alkalmazok, mivel ez a legelterjedtebb, mellesleg az alma esetében (a magyarországi teljes gyümölcsállomány közel kétharmada) (KSH, 6.4.1.21.) csak állványos AgroPV-rendszer alkalmazható (10.ábra). Ennek okáért egy 3,3 hektáron elterülő, Babberich-ben megvalósult AgroPV-rendszert választottam. (BayWa r.e., 2019). A használt növény a málna, ami fölött 10 250 napelempanel helyezkedik el és összesen 2,67 MW teljesítménnyel rendelkezik (BayWa r.e., 2019). A holland faluban telepített AgroPV-rendszer egy hektárra

levetítve 0,8 MW kapacitással rendelkezik, ebből fakadóan megállapíthatjuk, hogy Magyarországon nagyjából 3500 hektár területet kellene lefedni napelemmel annak érdekében, hogy elérjük a 2030-ig kiszabott, 6000 MW célértéket. Ez az általam kiválasztott, alkalmasnak ítélt területek (146 800 hektár) 2,4%-a.

Véleményem szerint ennyi napelemes kapacitás integrálása a napelemes szektorba AgroPV formájában nem ütközne akadályba, hiszen bőven van rendelkezésre álló földterület, ahol alkalmas gyümölcsöket termesztene és akkor még a zöldségtermesztésre szánt földterületeket nem is említettem.

4. A VIZSGÁLT FÖLDTERÜLET FELMÉRÉSE

Területválasztásnál az egyik legfontosabb szempont a termesztett növény, hiszen ez meghatározza az AgroPV-rendszer fajtáját, paramétereit. Ebből fakadóan jelen kutatás céljának tökéletesen megfelel a Lajosmizsén található, 5 hektáron elterülő földterület (11.ábra), amin tulajdonosa szamócát termeszt már több tíz éve. Bár az ismeretségeimnek köszönhetően tudtam a földterületen vizsgálgódni, jellemzői, a rajta termesztett növény, a szamóca és paramétere (amiket később, a fejezetben kifejtek) megfelelnek az elvárásaimnak, azaz egy AgroPV-rendszer telepítésének feltételeinek. Az Eisberg Hungary Kft. szerint is az AgroPV-rendszer gyümölcsöknél kifejezetten hatékonyan működhet.

„Lajomizse a hazai szamócatermesztés egyik központjává nőtte ki magát az elmúlt években” (agroforum, 2018), több weboldalon is lehet hasonlókat olvasni, emiatt is gondolom, hogy a város tökéletes alapját képezi a vizsgálódásomnak.



11. ábra: A Lajosmizsén található, 5 hektár földterület (a mintaterület). Kép forrása: E-Közmű

Az ábrázolt földterület (11. ábra) mellett a tulajdonos a közelben még 10 hektár területtel rendelkezik, amelyből 5 hektáron fűtött és hideg fóliasátrakban is termeszt számócat, ezzel is diverzifikálva a termelést. Ennek köszönhetően képes a betakarítási időszakot kitolni, mivel a több módszerrel termesztett számóca így más-más időszakokban fog termést adni. A terület fontos jellemzője, hogy nem pontosan déli tájolású, emiatt a telepített napelemes rendszer minimálisan kevesebbet (~ 5 %-kal) (MNNSZ, 2020) fog termelni egy pontosan déli tájolású rendszerhez képest. Az ebből adódó hatásokat a 4.1 fejezetben fejtem ki. A földrajzi szélességből adódó besugárzásiszög-változás napelemes rendszereknél kiemelendően fontos a terméshozam-maximalizálás szempontjából, de jelen esetben csak a hazai viszonyok (é.sz. 45-48) szerint történt a vizsgálódás. A terület morfológiáját tekintve egy sík terület, amire egy AgroPV-rendszer telepítése akadály nélkül megtörténhet.

Bár a számóca napkedvelő növénynek mondható, a tulajdonos, Sápi Kata Flóra elmondása szerint el kell gondolkozni a jövőben azon, hogy valami más növényre váltsa le, mert a klímaváltozás hatásai a számóca állapotán és terméshozamán negatívan mutatkoznak meg. Nagyon kényes növény, jégeső, túl sok csapadék vagy akár túlzott napsugárzás esetén drasztikus terméshozam-csökkenést produkál, emiatt különös figyelmet igényel. Túlzott meleg napokon a fuzáriózis veszélye is fennáll, amit többféle növényt megbetegítő penészgombafaj

okoz. A földterület 1,5-2 aranykoronás, ami kifejezetten rossz minőségű talaj termelés szempontjából, de ez a számocának tökéletesen megfelel, az úgynevezett „vakoló homok” a legjobb a számára. Ez egy laza szerkezetű, jól szellőző termőtalaj, ideális a növénynek. Az optimális hőmérséklet a 20 °C körüli érték, amit legjobban a tavaszi évszakban kap meg.

Egy AgroPV-rendszer telepítése ezen a területen azért lenne indokolt, mert a számóca kényességén át, a klímaváltozás negatív hatásain túl, egészen a dráguló energiaárákig minden megköveteli azt. A szabadföldi termesztéstől a szélsőséges időjárási körülmények miatt lassan kezd elállni, mivel nem hozza a számóca a várt termésátlagokat a fóliasátras (leginkább a fűtött) megoldásokkal szemben. Ebből a szempontból is érdekes megvizsgálni, hogy vajon egy napelemes rendszer képes lenne-e annyi árnyékot és annnyival hűvösebb körülményt biztosítani – a külső körülményekhez képest – a növénynek, hogy hozza a kívánt terméshozamot. Mivel a szabadföldi termelésen túl fólisátras módszereket is alkalmaz a tulajdonos, a kutatás csak a szabadföldön telepítendő AgroPV-rendszer kérdését vizsgálja az alábbiak miatt: a fóliasátorra közvetlenül nem lehet napelemeket telepíteni, mivel már egy nagyobb hőmennyiség miatt is szükséges a tetejét letisztítani, emellett a fóliát 3 évente cserélni kell. A fóliasátor fölé, állványokon lehet napelemes rendszert alkalmazni (12. ábra), de ez a módszer sokkal kevésbé elterjedtebb és az ezzel kapcsolatos tudományos irodalom is jelentősen ritka.



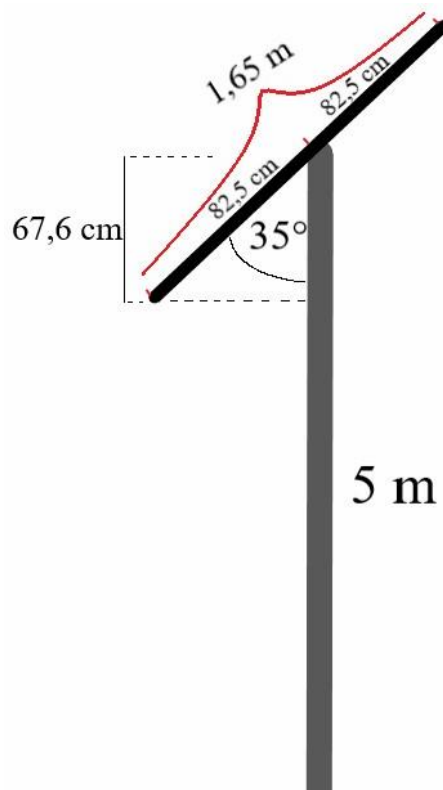
12. ábra: Fóliasátor fölé helyezett, állványos AgroPV-rendszer. Kép forrása: Fraunhofer ISE Guideline, 2020

5. EREDMÉNYEK

5.1. A javasolt AgroPV-rendszer

Az általam vizsgált AgroPV-rendszer az állványos rendszer lenne a következő tényezők miatt: állványos rendszer esetében a növény igényeinek megfelelően lehet a panelsűrűséget testreszabni, emellett a magasságból adódóan a növényre vetülő árnyék mennyiségét, illetve erősségét is meglehetősen határozni. Erre a számológépnek különösen szüksége van. Mindemellett a rendszer valamennyi védelmet nyújtana nagyobb viharok, jégeső esetén is. A sorok közötti elhelyezés esetében az árnyék mennyisége nagyobb lenne, illetve a mezőgazdasági gépek alkalmazása sem lenne megoldható, mivel több gépet is igénybe vesz a tulajdonos a mélyszántó ekétől kezdve, a traktorokon át, a kombinátorig.

A 15 hektár földterületből 10 hektárt vesz el a szabadföldi termelés, abból 5 hektár területen szándékozik Sági Kata Flóra felhagyni a termeléssel, így ezen a területen lehetne a rendszert telepíteni. A Németországban, Heggelbach-ban telepített állványos AgroPV-rendszer tökéletes példa ebből a szempontból annak ellenére, hogy krumplit, lóherét, zellert és búzát termesztnek a napelemek alatt (Fraunhofer ISE Guideline, 2020). Az ott termesztett növények hasonló mértékben napkedvelő növények, mint a számóca, emiatt jó alapot képez a rendszer. A számóca esetében az AgroPV-rendszer magassága 5 m lenne, hogy minél egyenletesebben kapja a bejövő napsugárzást, illetve a mezőgazdasági gépek akadálymentes mozgásához ez elengedhetetlen. A használt traktorok 3-4 m magasak, ezért 4 méternél magasabbnak kell lennie az állványzatnak. Fontos még a napelempanelek dőlésszögét megállapítani, amihez a PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) szoftverét használtam. A PVGIS információt nyújt a beérkező napsugárzásról és egy általunk megadott napelemes rendszer teljesítményéről a világ bármely pontján, ezért könnyedén megtudtam vizsgálni a potenciális AgroPV-rendszert Lajosmizsén. A szoftver a szerint a panelek dőlésszöge 35° (az érték csak a mintaterületre vonatkozik), ezért bizonyos mértékig lelőgnak, ezzel az 5 méteres magasságból, felülről elvéve valamennyi helyet. Ennek kiszámítása szinusz függvénnyel meghatározható, így a kapott eredmény 67,6 cm, amit a 13. ábra jól szemléltet. Emiatt a 4 méteres traktor és a napelempanelek között fennmarad 32,4 cm, ami elegendő az akadálymentes, illetve biztonságos közlekedésre, munkavégzésre, emellett a növényre vetülő árnyék is egyenletes lesz.



13. ábra A javasolt AgroPV-rendszer napelempaneleinek pontos paramétereit

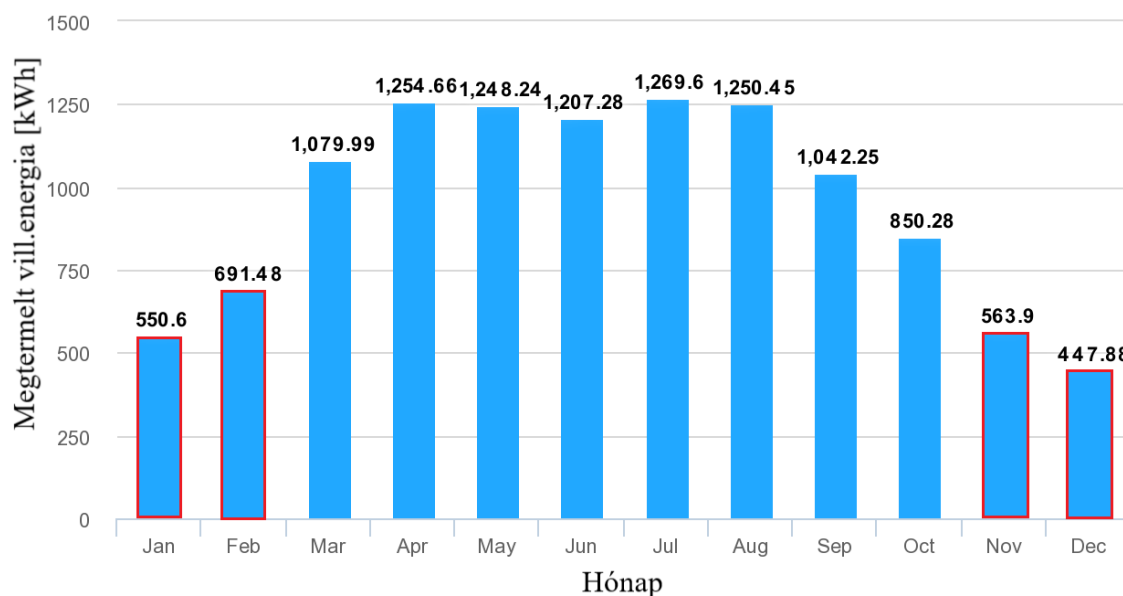
A fóliasátor fűtése, illetve a naponta történő öntözés átlagosan, havonta 800 kWh_p energiát igényel, ezért ennek kiváltásának megfelelően kell a napelemes rendszer teljesítményét meghatározni. Fontos kiemelni, hogy januártól egészen augusztusig érkezhetsz termés a szabadföldről, illetve a fólisátrakból együttesen, ezért ezt is figyelembe kell venni. A Global Solar Atlas szerint Lajosmizsén kb. 1280 kWh villamos energiát lehetne megtermelni 1 kW teljesítményű napelemes rendszerrel (Global Solar Atlas, 2022), más források szerint ez az érték inkább évi ~1100 kWh (Mavir, 2022), emiatt a rendszer kapacitásának meghatározásához ezt a két értéket vettem alapul. Ebből adódóan egy 9 kW-os AgroPV-rendszer telepítése lenne a javasolt, hiszen ez bőven tudná napos időben fedezni a fóliasátor fűtésére, illetve az öntözésre szánt energiát és még így is maradna többlet energia, amit más elektromos berendezés használatára vagy autó töltésére fel lehetne használni. Természetesen az előbbi állítások csak tiszta, napsütött napokra vonatkoznak, hiszen télen a javasolt AgroPV-rendszer kb. fele annyi villamos energiát termelne (14. ábra) a napos, tavaszi napokhoz képest. Egy jóval nagyobb teljesítményű rendszer kialakítása nehezen jöhet szóba, hiszen az új kormányrendelet szerint a háztartási méretű napelemes rendszerek meghatározatlan ideig nem táplálhatják be a megtermelt villamos energiát a villamos hálózatba (MK, 173. szám). Minden, 50 kW teljesítmény alatti napelemes rendszer háztartási méretű rendszernek minősül (MVM), emiatt a

javasolt AgroPV-rendszer is beleesne ebbe a halmazba. Ha több villamos energia termelődné, mint amennyi felhasználásra kerülne, akkor abban az esetben a felesleges energiát tárolni kellene, amihez viszont akkumulátor szükséges (a tárolási idő max. 1 hét). A piacon a leginkább elterjedtebbek a lítium-ion akkumulátorok, melyeknek beszerzése költséges, több millió forintba is kerülhetnek (SolarReviews, 2022).

A villamosenergia-felhasználás leginkább napközben történne, mivel a napelemek is ekkor termelnének. A fűtésre szánt energiát napközben a napelemek fedoznék, esti órákban pedig vagy szüneteltetni kellene vagy ellenkező esetben a hálózatról kellene a villamos energiát vételezni, ennek mértéke a fóliasátor szigetelésétől, a fűtött órák számától, illetve a növény igényétől függ. Az öntözésre szánt vízmennyiség kiszivattyúzását szintúgy napközben kellene megejteni, amikor a napelemek energiát termelnek. A rendszer délnyugati tájolásából adódóan nagyjából 5%-os termés hozam-csökkenéssel kell számolni (MNNSZ, 2020) egy pontosan déli tájolású rendszerhez képest, de ez egyáltalán nem jelent hátrányt. Éppen ezek okáért tartom megfelelőnek a 9 kW-os rendszert. A 14. ábra jól szemlélteti a 9 kW-os rendszer éves termelését havi bontásban. Látszólag az év legnagyobb részében többet termelne, mint amennyi az öntözésre és a fóliasátrak fűtésére kell együttevén, de egyrészt a tulajdonosa különféle háztartási berendezések működtetésére is használná a megtermelt energiát. Másrészt a nagyobb teljesítményű napelemes rendszer ennek okán márciusban, szeptemberben és októberben is tudná fedezni a felhasznált villamos energiát.

A javasolt AgroPV-rendszer éves termelése havi bontásban

(C) PVGIS, 2022

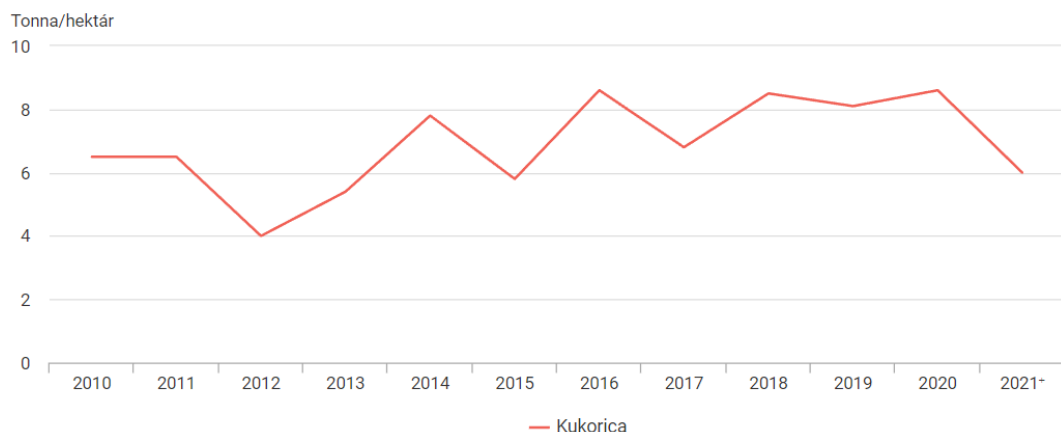


14. ábra: A javasolt AgroPV-rendszer éves termelése havi bontásban. A piros körvonallal rendelkező hónapok nem érik el a 800 kWh termelést. A diagram forrása: PVGIS, 2022

Abban az esetben, ha majd újra lehet a villamos hálózatba betáplálni, a napelemes rendszer bővítése javasolt, leginkább a rövidebb megtérülés céljából. A rendszer a borús, téli napokon kevesebb villamos energiát termelne, ezért ilyen esetekben a villamos hálózatról kell vételezni a hiányzó energiát.

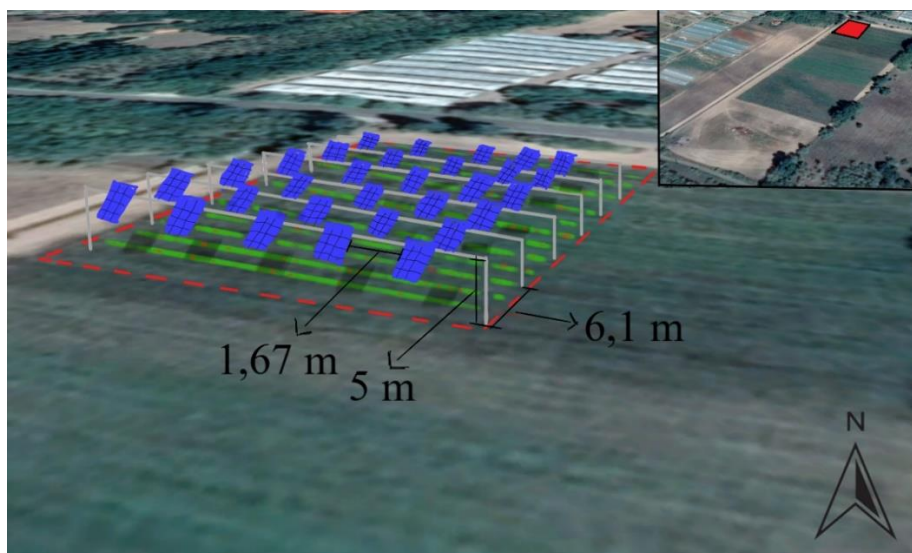
Egy átlagos napelem 991 mm széles és 1650 mm hosszú, területe kerekítve 1,64 m² (Sunpower). Ma már több, mint 400 W-os napelemek is vannak a piacon, de a Heggelbach-ban telepített, 270 W-os napelemekkel számolok, mivel még mindig ez az elterjedtebb (YESEnergySolutions), illetve így nagyobb területet lehetne velük lefedni. Ezek alapján egy 9 kW teljesítményű AgroPV-rendszerhez 33 napelempanel szükséges, amik együtt 54 m²-t területet foglalnának el, de ez nem teljesen fedí le a valóságot. Egy ilyen rendszernél fontos, hogy a napelemek ne árnyékolják egymást, ezért bizonyos helyet ki kell hagyni két napelemsor között. A Heggelbach-ban alkalmazott rendszer esetében 6,1 m van meghagyva (Fraunhofer ISE Guideline, 2020), de ez az érték növelhető a növény igényei szerint. A mintaterület esetében a 6,1 m-es távolságot javaslom, mivel így a napelemek biztosan nem fogják egymást árnyékolni, ami egy napelemes rendszernél kulcsfontosságú tényező, illetve ez szinte már minimum értéknek számít (Coşgun, 2021).

A számóca igényeit figyelembe véve, miszerint szüksége van a napsütésre, a sorokban elhelyezkedő napelemek között is szükséges bizonyos helyet hagyni annak érdekében, hogy minél egyenletesebben jusson árnyék – ezzel párhuzamban pedig több napsütés – a növényre. A tulajdonos elmondása szerint a 2022 nyarán összegyűjtött termés valamivel kevesebb volt az átlagnál, de egyáltalán nem volt megfigyelhető drasztikus csökkenés, ami bizonyítja azt, hogy a számóca mennyire bírja a direkt napsugárzást. Sekiyama & Nagashima (2019) tanulmányában, a kukoricán alkalmazott állványos AgroPV-rendszer esetében két napelempanel között 1,67 m volt kihagyva, ezért ebben az esetben is ezt javaslom. A kukorica is nagy mértékben igényli a közvetlen napsugárzást, de a klímaváltozás szélsőséges hatásával nem mindig bír szembeszállni, ezt bizonyítja a 15. ábra.



15. ábra: A kukorica termésmennyisége. Kép forrása: KSH

Már 2019 végén elkezdett csökkenni a kukorica termésmennyisége, ami – a KSH adatai szerint – 2022-ben is tovább folytatódott, annak ellenére, hogy 2021-hez képest 7%-kal nagyobb volt a betakarított terület (KSH, 19.1.2.5.). Hasonló a tapasztalat a szamócával a magas besugárzási értékekkel bíró napok miatt, ezért ebben az esetben is 1,67 m kihagyása lenne szükséges két napelempanel között. Mindezek után az egész AgroPV-rendszer 54 m² helyett közel 500 m² (498.65 m²) területet fedne le. Ebben az esetben a GCR indikátor 0,11 lenne, ami arról árulkodik, hogy az adott területen ritkábban elhelyezett panelek vannak a nagyobb besugárzási értékek biztosítása miatt. A földterület arányai miatt (11.ábra) a potenciális AgroPV-rendszer hasonlóan nézni ki (16. ábra). Természetesen a rendszer által elfoglalt terület (~500 m²) oldalainak aránya nincsen kőbe vésve, a gazda saját maga döntheti el, hogy a rendszer miként töltsse ki a területet.



16. ábra: A potenciális, ~500 m²-en elterülő AgroPV-rendszer Kata földterületén. Műholdkép forrása:

Google Earth Pro. Kép forrása: Saját szerkesztés

Fontos kiemelni, hogy az ábrán 33 napelem helyett csak 30 panel szerepel (a sorokban és oszlopokban lévő napelempanelek száma miatt), ami viszont már kevesebbet termelne, 800 kWh helyett ~750 kWh-t, de ez így sem jelentene problémát. A napelemek alatt lévő kondíciók miatt ugyanis – ahogy már említettem – a párologtatás mértéke is kevesebb, ezáltal az öntözéshez használt víz mennyisége is csökkenne 14-29%-kal (Dinesh & Pearce, 2016), ami magával vonja azt, hogy a szivattyúzáshoz kevesebb villamos energiát kell használni. Természetesen többlet termelés esetén fontolóra lehetne venni a számócaállomány növelését, így a megtermelt többlet energiát fel lehetne használni a többi számóca öntözéséhez.

Egy napelemes rendszer villamosenergia-hozama a napsütötte órák számától, a besugárzás beesési szögétől, illetve a hőmérséklettől függ, hiszen a szilícium alapú napelem hatásfoka romlik minél erősebb, intenzívebb a besugárzás (Ettah & Obiefuna, n.d.). Tavaszi, enyhébb, napsütéses időben a napelem villamosenergia-hozama több lesz, mint egy forró, nyári időben. Ezenkívül megemlítendő, hogy a 16. ábrán látott arányok nem tükrözik a valódi rendszer által megszabott értékeket, a célja, hogy szemléltesse, illusztrálja az AgroPV-rendszert.

A földterület délnyugati tájolásánál még érdemes lehet megemlíteni, mint opciót, a forgatható napelemeket. Ezek egy vagy két tengelyen képesek forogni és lekövetni a Nap mozgását (Sobuj Kumar Ray et al., 2012), ezzel is minél jobban növelni a villamosenergia-termelést. Használatuk általam nem javasolt, mivel a napkövető rendszer panelenként való integrálása akár kétszeresére növelné az összköltséget (SolarReviews, 2022), ezért helyettük inkább több napelempanel telepítését javaslom.

A rendszer a szélsőséges időjárási körülmények ellen – ahogy már említettem – bizonyos mértékig védelmet nyújtana. Túlzott csapadék vagy jégeső esetén nem képes lefedni az alatti lévő teljes területet, így minimálisan a növényt is közvetlenül érintené, de egyáltalán nem olyan mértékben, mintha nem alkalmaznánk napelemes rendszert. Nagyobb szélviharok esetén a rendszer nem nyújtana védelmet, hiszen oldalról nincs semmi, ami ezt gátolná, viszont fasorok telepítésével ezen lehetne segíteni (Jain et al., 2021). A már említett hőség elleni védelemben viszont nagy szerepet kap, emiatt megvan annak is az esélye, hogy a termelő ne hagyjon fel ezen a területen a számóca termesztésével a jobb kondícióknak és az abból adódó terméshozam- és termésminőség-növekedésnek köszönhetően.

A rendszer telepítését illetően a kivitelezés nem ütközne akadályba, hiszen az infrastruktúra fejlettsége elég lenne ahhoz, hogy nagyobb gépjárművek akadálymentesen tudjanak mozogni, ez jól látszik a 12. ábrán. A földterület hosszabbik oldalai mellett földutak húzódnak, míg maga a terület előtt (ahol a főbejárat is található) betonozott út található. A rendszerhez szükséges

állványoknak is bőven van hely, hiszen két számócasor között nagyjából 50 cm van kihagyva (17. ábra).



17. ábra: Szamócasorok. Kép forrása: Tulajdonos

Bár a 17. ábra fóliasátorban készült, szabadföldön is kb. 50 cm van két terméssor között meghagyva. A földterület mindkét végén van kiépített villamos hálózat, emiatt a szállításból származó veszteség nagyon minimális, ezt illusztrálja a piros vonal a 11. ábrán.

Az AgroPV-rendszer képes lenne az esővizet elraktározni (3.7.5. alfejezet), amit később fel lehetne használni akár ivóvízként, a napelem tisztítására vagy akár a növények öntözésére. Az öntözéshez szükséges villamos energiát pedig lehetne a napelemek által megtermelt energiából fedezni, ezzel egy önfenntartó rendszert létrehozva. Természetesen ez nagy mértékben függ a csapadékos napok számától és gyakoriságától.

5.2. Országos kitekintés – potenciálok számítása

Annak ellenére, hogy a Lajosmizsén vizsgált földterület és az arra javasolt AgroPV-rendszer nem rendelkezik teljeskörű adatokkal, információkkal, bőven elegendő ahhoz, hogy felmérjük az AgroPV-rendszer potenciálját a számocával bevetett területeken Magyarországon. Bár a 3.9 fejezet is hasonló témával foglalkozik (maga a rendszer potenciáljával az országban), jelen fejezet csak azokkal a területekkel foglalkozik, amin számocát termesztenek. Célja, hogy felmérje ezeket a területeket és megállapítsa a beépített AgroPV kapacitást, majd, hogy ebből következtetéseket vonjon le. Magyarország 2020-as számoca állományát és az azzal kapcsolatos információkat a Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet biztosította, frissebb adatok nem álltak rendelkezésemre.

Magyarországon a számoca termőterülete az évek során nagyon ingadozó volt, jelenleg ez az érték kerekítve 700 hektár. Nem elég itt megállni, hiszen a termesztési mód is egy nagyon fontos tényező, amit nem lehet figyelmen kívül hagyni. A felhasznált földterület mintegy 40%-át szabadföldi termesztésként hasznosítják, a többi 60%-on pedig valamilyen takarás alatt vannak a növények. Ez nem feltétlen jelent fóliasátrat vagy üvegházakat, vannak olyan esetek, ahol pusztán csak az eső elleni védelem miatt van valamiféle sátor felhúzva. Számokban kifejezve ez annyit jelent, hogy a takart felület kb. felét foglalják el rendes (tehát nem csak eső elleni védelem céljából felrakott) fóliasátrak és üvegházak, míg a másik felét a már említett védelmet nyújtó sátrak teszik ki. Üvegházakban nem szokás számocát termesztetni, már egy jó ideje nem is teszik, csak a már több évtizede működő üvegházzal rendelkező gazdaságok, emiatt állományuk mindössze néhány tíz hektárra tehető. Mivel ezzel kapcsolatos pontos adat nincs, a „*nehány tíz hektár*” megfogalmazás miatt ~40 hektár területet szántam az üvegházakkal borított földterületekre a további számolások hiánytalan lebonyolításának érdekében. Mindezek után meglehet mondani, hogy a 700 hektár területből 280 hektáron termesztenek szabadföldön számocát, a maradék 420 hektár területből pedig mindössze 210 hektár területet lehet a célnak megfelelően felhasználni, mivel az eső elleni sátrakat lehetne napelemekkel helyettesíteni és az üvegházakra is lehet napelemeket feltenni (~40 hektár), míg a fóliasátrakra közvetlenül nem lehet, így ezek a területeket (170 hektár) kiesnek. Bár erre is van megoldás (lásd: 12.ábra), de ez még képlékeny, nem kiforrott. A számok összeadása után elmondható, hogy az „AgroPV-kompatibilis”, számoca termesztésére szolgáló termőterületek összesen 530 hektár területet fednek le.

Most már csak azt kell megállapítani, hogy az 530 hektár területre mennyi napelemes kapacitás jut. Mivel nem ismerem külön-külön a területek jellemzőit, azaz a kiépített infrastruktúrát, a

meglévő villamos hálózatot, a termesztés módját, a termőterületek nagyságát, azok égtáj szerinti elhelyezkedését és még sok más olyan kulcs tényezőt, melyek segítenének pontosítani a megkapott értéket, ezektől eltekintek, tehát az eredeti 530 hektárral számolok. Ahogy említettem, a Lajosmizsén folytatott vizsgálódásom képezi az egyik alapot, de pontosítások szükségesek. A javasolt AgroPV-rendszer teljesítménye egy hektárra levetítve 18 kW, mindez 270 W-os napelemekkel. Ugyanez korszerűbb, 400 W-os napelempanelel 26,5 kW/hektár lenne, tehát nagyon fontos a napelempanel teljesítménye. Az AgroPV-rendszer fajtája is kihagyhatatlan, de ebben az esetben a többi termőföld ismeretségének hiányában a kutatás ezzel sem foglalkozik. Megállapíthatjuk, hogy Magyarországon az említett 530 hektár termőföld beépített AgroPV kapacitása 270-300 W teljesítményű napelempanelel 9,5 MW, 400 W-os panelel pedig 14 MW. Mivel sok információ nem állt rendelkezésemre és azt sem lehet tudni, hogy a 4.2 fejezetben említett, napelemes kormányrendelet meddig fog tartani, a számóca termesztésére és AgroPV-rendszer telepítésére alkalmas földterületek AgroPV kapacitása 10-15 MW. Ez az érték a még 2030-ig kitűzött 6000 MW beépített napelemes kapacitáshoz tartozó hiányzó érték (~2500 MW) kevesebb, mint 1%-a, másként megfogalmazva a Magyarországon lévő legnagyobb napelempark teljesítményének majdnem ~15%-a. Abban az esetben, ha számításba vesszük a fóliasátrak fölé, állványokra felhelyezett napelemes rendszereket is, akkor teljes földterülettel, azaz 700 hektárral számolunk. Ekkor az érték 270-300 W-os napelemekkel közel 13 MW, míg 400 W-os panelel 18.5 MW. Ez egy 34%-os növekedés az 520 hektárral szemben, de így sem mondható kimagasló értéknek.

Természetesen e téren is további vizsgálódások szükségesek a pontosabb kapacitási érték meghatározásához, de jó kiindulási alapot képez a jövőben végzendő többi kutatáshoz.

6. KONKLÚZIÓ & KÖVETKEZTETÉSEK

A gazda számára legfontosabb a terméshozam mennyisége és az abból eredő bevétel, mondja Szeidl Tamás gabonatermelő és David Böhm, a Fraunhofer ISE, Európa legnagyobb napenergia-kutató intézetének egyik kutatási asszisztense a Microsoft Teams-en zajlott interjú során. A mezőgazdaság legnagyobb ellensége a kiszámíthatatlan időjárás, amire nagyon nehezen lehet felkészülni, de ennek ellenére mindent megpróbálnak megtenni a gazdák annak érdekében, hogy maximalizálják a hozamukat. Az AgroPV-rendszer egy olyan modern, innovatív alternatíva erre a problémára, amire a világon már számos pozitív példa született és az ebből fakadó előnyök megkérdőjelezhetetlenek.

Bár egy AgroPV-rendszer kivitelezése, fizikai valójában lévő alkalmazása sok komponensből áll össze és nem elég csak a növény igényeinek felmérése, lokális és globális hatással bírhat a klímaváltozás elleni küzdelemben. Minden tényező együttes hatása fogja megadni egy olyan rendszer létrejöttét, ami mind a gazda, mind a szolgáltató, külső beruházó vagy napelemes cég és a lakosság számára a legkifizetődőbb, illetve a leghatékonyabb.

A lajosmizsei mintaterület tulajdonosa esetében is fontos minden tényezőt figyelembe venni a növény igényein túl, a magyar villamos hálózattal kapcsolatos információkon át egészen a klímaváltozásig. A lajosmizsei területen lévő potenciális AgroPV-rendszer azon kívül, hogy a növény számára a legideálisabb kondíciót próbálná biztosítani, ügyelne arra, hogy a bevételt bebiztosítsa, diverzifikálja és mindemellett növelje. Egy AgroPV-rendszernek annyi fajtája létezhet, amennyi különféle földterület van, hiszen minden esetben az adott területhez és a növényhez kell igazodnia. Lajosmizsén az infrastruktúra, a földterület égtáj szerinti elhelyezkedése, a minősége, a rajta termesztett növény, a felhasznált villamos energia, a változó éghajlat és még sok más tényező együttesen vonják maguk után egy AgroPV-rendszer telepítését.

A kutatási eredmények jól szemléltetik az ország kihasználhatóságát AgroPV-rendszerek terén az erre alkalmas mezőgazdasági területeken és ezen kívül a csak számocával borított termőterületeken. Nem csak lokálisan egy adott földterület van felmérve, hanem egy országos kitekintés keretében jól láthatóak a hazai kiaknázható lehetőségek és az is, hogy mekkora szükség van ilyen rendszerek integrálására a napelemes szektorban.

Összeségében elmondható, hogy a kutatási eredmények nem szolgálnak teljeskörű, részletes információkkal, emiatt további vizsgálódás szükséges esetleges AgroPV-rendszer telepítése érdekében. Ellenkezőleg viszont jól rámutat maga a rendszer fontosságára, szükségességére lokális és globális szinten is, valamint alapvető képet ad egy elméleti, hazai körülmények között telepítendő, potenciális AgroPV-rendszerrel.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásom során érdemi segítséget tudott nyújtani Méhes Martina, az Energiaklub ügyvezető és szakmai igazgatója, akivel online interjú formájában, Google Meeten beszélgettem az AgroPV-rendszerekről és a megújuló energiaforrásokról. Továbbá kérdeztem egy, több napelemes projektet vezető személyt a rendszer napelemes részét érintő tényezőkről, illetve

általánosságban a napelemfarmokról, de ő viszont nem járult hozzá nevének felfedéséhez. Nagy segítséget nyújtott Kádár József, az izraeli Haifa Egyetem P.h. D. hallgatója, az Arava Institute for Environmental Studies, a Közel-Kelet vezető környezetvédelmi tanulmányokkal és kutatással foglalkozó intézetén belül a Megújuló energiával és Energiamegtakarítással foglalkozó Központ kutatási asszisztense. A beszélgetés online formában, a Google Meeten valósult meg, ahol az izraeli, német és magyar kapcsolatokról konzultáltunk az AgroPV terén. A mezőgazdasági oldalt illetően Szeidl Tamás gazdától kaptam eligazítást, aki azon kívül, hogy tömérdek tapasztalattal rendelkezik, még most is Ceglédbercelen, 46 hektáron gazdálkodik. Vele személyesen sikerült interjút készítenem, beavatott a mezőgazdaság rejtelmeibe. Sági Kata Flóra biztosította a kutatás másik felét, a vizsgált földterületet Lajosmizsén. Mesélt a számócáról, a termesztési szokásairól, ellátott minden hasznos információval, adattal. David Böhm, a Fraunhofer ISE, Európa legnagyobb napenergia kutatóközpontjának a kutatási asszisztense is volt segítségemre, akit a német és magyar AgroPV-rendszerekről és az ezekre való igényekről kérdeztem. Legutoljára pedig Munkácsy Béla, az ELTE-TTK egyik adjunktusa, a kutatásom témavezetője is segítette munkámat, látott el tanácsokkal mind a kutatás, mind a dolgozat megírása terén.

Cégek tekintetében az Optimum Solar és a PannonWatt, napelemtelepítéssel foglalkozó cégekkel volt lehetőségem mélyebben konzultálni, akikről kiderült, hogy számukra olyan szinten nem idegen a rendszer, hogy már a jövőben terveznek komolyabban elmélyülni a témában. Az Optimum Solar már el is kezdett egy ilyen rendszerrel foglalkozni, de anyagi akadályok miatt ez a projekt szünetel, mondta Porga Eszter, a cég egyik dolgozója. Az Eisberg Hungary Kft. ügyvezető igazgatója is volt olyan nagylelkű és válaszolt az általam írt kérdésekre emailen keresztül. A cég Alföldön, Balástya településtől nem messze különféle salátafajtákat termeszt, amire egyből felkaptam a fejem, mivel a saláta az egyik legkönnyebben alkalmazható növény napelemes rendszer alatt, ezt bizonyítja több külföldi (és általam felhasznált) tanulmány is. Itt is kifejezem köszönetemet a támogatásuk iránt, nélkülük a kutatás nem nyerte volna el mostani formáját.

8. BIBLIOGRÁFIA

- Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>
- Agrifarming (2019). Grape farming, Cultivation Information India Guide <https://www.agrifarming.in/grape-farming-information>
- Agrofórum (2018). Szamócatermesztés szabadföldön és hajtásban. <https://agroforum.hu/szakcikkek/gyumolcs/szamocatermesztes-szabadfoldon-es-hajtatásban/>
- BayWa r.e. Summary, An overview of our services for the Piet Albers raspberry farm <https://www.baywa-re.com/en/cases/emea/solar-installations-bear-fruit-for-netherlands-agri-pv?filter=&filter=&filter-value=1>
- Chhablani J. (2012). Occupation of India. <http://www.slideshare.net/jashithchhablani/occupation-of-india>
- Coşgun, A. E. (2021). The potential of Agrivoltaic systems in TURKEY. *Energy Reports*, 7, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.017>
- Cossu, M., Murgia, L., Ledda, L., Deligios, P. A., Sirigu, A., Chessa, F., & Pazzona, A. (2014). Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Applied Energy*, 133, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.070>
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 54, pp. 299–308). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- Discovered India, Nashik <http://www.discoveredindia.com/maharashtra/cities-and-destinations-in-maharashtra/nashik.htm>
- Department of Economic and Social Affairs Population Division, Concise Report on the World Population Situation in 2014 <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/en.pdf>
- EEA Report No13/2021, European Environment Agency, Trends and projections in Europe 2021 https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021/at_download/file
- Energia Klub – Sajtóreggeli összefoglaló lapok #6 https://energiaklub.hu/sites/default/files/ek_sajto_hatter_megujulok_eu.pdf
- Ettah, E. B., & Obiefuna, J. (n.d.). *The relationship between solar radiation and the efficiency of solar panels in Port Harcourt, Nigeria The impacts of Meteorological parameters on radio refractivity and climate change View project.* <https://www.researchgate.net/publication/268294634>
- Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems ISE (2020). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition.

- <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>
- Fruitveb (2020). A hazai szamócatermesztés és a 2020. évi kilátások
<https://fruitveb.hu/a-hazai-szamocatermesztes-es-a-2020-evi-kilatasok/>
- GAF Contributor (2015). How much sun do grapevines need?
http://www.gardenandflowers.com/info_8558829_much-sun-do-grapevines-need.html
- Global Solar Atlas (2022).
<https://globalsolaratlas.info/map?c=48.871941,12.133769,5&s=46.7248,19.609436&m=site>
- IPCC. (2022). Framing and Context. In Global Warming of 1.5°C (pp. 49–92). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.003>
- Jain, P., Raina, G., Sinha, S., Malik, P., & Mathur, S. (2021). Agrovoltatics: Step towards sustainable energy-food combination. *Bioresource Technology Reports*, 15.
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>
- Jessica L., Marian S., Linus B., Rebecca R. Hernandez. (2022). Land-use intensity of electricity production and tomorrow's energy landscape
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0270155>
- Központi Statisztikai Hivatal 19.1.1.8. Magyarország földterülete művelési ágak szerint [ezer hektár] https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html
- Központi Statisztikai Hivatal (2020), Fenntartható fejlődési célok. <https://www.ksh.hu/sdg/3-37-sdg-7.html>
- Központi Statisztikai Hivatal (2020). 6.4.1.21. Gyümölcstermelés (2000–)
https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn025b.html
- Li, C., Wang, H., Miao, H., & Ye, B. (2017). The economic and social performance of integrated photovoltaic and agricultural greenhouses systems: Case study in China. *Applied Energy*, 190, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.121>
- Magyarország közigazgatási helynévkönyve (2019). pp. 18. Központi Statisztikai Hivatal (2019) https://www.ksh.hu/docs/hun/hnk/hnk_2019.pdf
- Magyar Építők (2022). <https://magyarepitok.hu/iparagi-hirek/2022/10/ez-a-paks-mellett-epult-uj-naperomu-5500-haztartas-energiaellatasat-kepes-biztostani>
- Magyar Közlöny (2022). 173. szám,
<https://magyarkozlony.hu/dokumentumok/8f8dbedf6c1084fab83186324fb38c6862070309/megtekintes>
- Magyar Napelem és Napkollektor Szövetség (2020), Napelem optimális tájolása
<https://www.mnnsz.hu/napelem-optimalis-tajolasa/>
- Magyar Villamos Művek, *Háztartási méretű kiserőművek*
<https://www.mvmnext.hu/aram/pages/aloldal.jsp?id=618185>

- Malu, P. R., Sharma, U. S., & Pearce, J. M. (2017). Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 104–110.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.08.004>
- Marrou, H., Dufour, L., & Wery, J. (2013). How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy*, 50, 38–51.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.004>
- MAVIR, 2022, Naptermelés becslés és tény adatok
<https://www.mavir.hu/web/mavir/naptermeles-becsles-es-teny-adatok>
- MAVIR, 2022, Energia MIX - VER Erőművi Bruttó Termelés és Teljes Bruttó Villamosenergia-Felhasználás adatok. <https://www.mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-brutto-termeles-es-teljes-brutto-villamosenergia-felhasznalas-adatok>
- M. Büchele, Lucas' Anleitung zum Obstbau (Libreka GmbH; Verlag Eugen Ulmer, 2018)
<https://www.ulmer.de/usd-5042176/lucas-anleitung-zum-obstbau-.html>
- National Committee for Plasticulture Applications in Horticulture (NCPAH). (n.d.). *Study of Value Chain for Grapes, Nasik, Maharashtra*.
- Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Jogszabályi összefoglaló (2021). *Módosult a Termőföld védelméről szóló törvény is* <https://nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/mezogazdasagi-termeles/103433-modosult-a-termofold-vedelmerol-szolo-torveny-is>
- Innovációs és Technológiai Minisztérium (2020). Nemzeti Energia- és Klímaterv
https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf
- Obergfell, T., Schindele, S., Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Reise, C., & Schindele, S. (2012). *Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic ? Optimization of Orientation and Harvest PERFORMANCE-A science base on photovoltaics performance for increased market transparency and customer confidence View project OptOM-Kostenoptimale Betriebsführung von PV-Anlagen über ihre wirtschaftliche Lebensdauer View project COMBINING PV AND FOOD CROPS TO AGROPHOTOVOLTAIC-OPTIMIZATION OF ORIENTATION AND HARVEST*.
<https://doi.org/10.4229/27thEUPVSEC2012-5AV.2.25>
- Országos Meteorológiai Szolgálat, *Napfénytartam*
<https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/napfenytartam/>
- PBL Planbureau voor de Leefomgeving <http://themasites.pbl.nl/tridion/en/themasites/hyde/>
- Photovoltaic Geographical Information System (2022),
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.2
- Plantmaps (2023). Europe Köppen Climate Classification Map
<https://www.plantmaps.com/koppen-climate-classification-map-europe.php>
- Portfolio (2022). *Megjelent a kormány rendkívüli döntése a napelemekről*
<https://www.portfolio.hu/gazdasag/20221027/megjelent-a-kormany-rendkivuli-dontese-a-napelemekrol-575247>

- Portfolio (2022), Napenergia: így teljesülhet egy évtizeddel korábban a 2040-es magyar cél
<https://www.portfolio.hu/uzlet/20220628/napenergia-igy-teljesulhet-egy-evtizeddel-korabban-a-2040-es-magyar-cel-552783>
- PV-Magazine (2020), 100 MW solar park comes online in eastern central Europe
<https://www.pv-magazine.com/2020/12/14/100-mw-solar-park-comes-online-in-eastern-central-europe/>
- Riaz, M. H., Younas, R., Imran, H., Alam, M. A., & Butt, N. Z. (2019). *Module Technology for Agrivoltaics: Vertical Bifacial vs. Tilted Monofacial Farms*.
<http://arxiv.org/abs/1910.01076>
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., & Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environments - MDPI*, 6(6). <https://doi.org/10.3390/environments6060065>
- Sobuj Kumar Ray, B., Abul Bashar, M., Ahmad, M., bin Sayed, F., Kumar Ray α, S., Abul Bashar σ, M., Ahmad ρ, M., & bin Sayed GΩ, F. (2012). *Two Ways of Rotating Freedom Solar Tracker by Using ADC of Microcontroller Two Ways of Rotating Freedom Solar Tracker by Using ADC of Microcontroller Two Ways of Rotating Freedom Solar Tracker by Using ADC of Microcontroller*.
- SolarImpulse Foundation, Agrinergie® <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/agrinergie>
- Solar Reviews, 2022, *Solar batteries: Are they worth the cost?*
<https://www.solarreviews.com/blog/is-solar-battery-storage-worth-it-given-current-solar-battery-cost#:~:text=How%20much%20do%20solar%20batteries,%247%2C000%20to%20%2414%2C000%20to%20install>
- Solar Reviews, 2022, *What is a solar tracker and is it worth the investment?*
<https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>
- Statista (2022). *Hours of sunshine in the Netherlands from 1990 to 2021*
<https://www.statista.com/statistics/1012949/hours-of-sunshine-in-the-netherlands/>
- SunPower, *How Many Solar Panels Do You Need: Panel Size and Output Factors*
<https://us.sunpower.com/solar-resources/how-many-solar-panels-do-you-need-panel-size-and-output-factors>
- Telex (2022). Termelési csúcsot értek el a magyarországi naperőművek
<https://telex.hu/gazdasag/2022/07/15/termelési-csucsot-ertek-el-a-magyarországi-naperomuvek>

- Timeanddate <http://www.timeanddate.com/sun/india/nashik?month=12&year=2015>
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P., & Obergfell, T. (2021). Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694>
- Trommsdorff, M., 2019. Agrophotovoltaics: High harvesting yield in hot summer of 2018 <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2019/agrophotovoltaics-high-harvesting-yield-in-hot-summer-of-2018.html>
- H. Frederick Gale (2013). Growth and Evolution in China's Agricultural Support Policies. United States Department of Agriculture. <https://ssrn.com/abstract=2323650>
- Willockx, B., Herteleer, B., & Cappelle, J. (2020). Combining photovoltaic modules and food crops: first agrovoltaic prototype in Belgium. In *Renewable Energy and Power Quality Journal*.
- Wolfhaus.at <https://www.wolfhaus.at/>
- Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 73, pp. 1–9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.098>
- YesEnergySolutions (2022). *How much energy do solar panels produce for your home?* <https://www.yesenergysolutions.co.uk/advice/how-much-energy-solar-panels-produce-home>