

Agro-fotovoltaikus rendszerek létesítésének lehetőségei és potenciális szerepük a modern villamosenergia-rendszerben

RÁDLI-BURJÁN BERNADETT¹

Bevezetés

Napjaink egyik jelentős problémája a globális energiaigény folyamatos növekedése. A globálisan felhasznált energia mennyisége 2023-ban 2,2%-al növekedett, így elérte a 15 000 Mtoe értéket [1]. Az energiaigény növekedésével párhuzamosan egyre nagyobb hangsúly helyeződik a fenntartható energiatermelésre, a megújuló energiaforrások részarányának növelésére is, Magyarországon 2030-ra a 12 000 MW beépített naperőművi teljesítmény a cél [2]. A megújuló energiaforrások, elsősorban a naperőművek telepítéséhez jelentős földterületekre van szükség, mivel azok energiasűrűsége jóval alacsonyabb, mint a nem megújuló energiaforrásoké.

A népesség növekedésével és fejlődéssel együtt jár az élelmiszerigény folyamatos növekedése is. Ugyanakkor az egy főre jutó termőföld 48%-al csökkent 1961 és 2016 között [3]. A mezőgazdaságnak a növekvő igények mellett meg kell küzdenie az éghajlat változás okozta szélsőséges időjárási körülményekkel, valamint meg kell felelnie az egyre erősödő fenntarthatósági elvárásoknak is [4]. Ezek alapján kiemelten fontos, hogy minél kevesebb termőterület kerüljön kivonásra a mezőgazdasági termelésből energiatermelési céllal.

¹ Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Témavezető: Dr. Weltsch Zoltán, egyetemi docens, Vállalati szakértő: Dr. Fekete Rita, Munkáltató: ZalaZONE InnoTech Nonprofit Kft.

Az agro-fotovoltaikus rendszerek lehetőséget biztosítanak, hogy egy adott földterületen párhuzamosan kerüljön sor energiatermelésre és mezőgazdasági termelésre is. Megfelelő tervezés mellett az agro-fotovoltaikus megoldások mindkét ágazat számára előnyös lehet.

Szakirodalmi áttekintés

A mezőgazdaság több különböző szegmense is alkalmas lehet a naperőművi energiatermeléssel való társításra. Az állattenyésztés esetén a kiskérődzők legeltetése a naperőművi struktúra kevés változtatása mellett is megoldható, már meglévő naperőművek is könnyen átalakíthatók. Ebben az esetben a naperőmű kaszálási munkái kiválthatóak, a napelempanelék pedig árnyékot és eső elleni védelmet biztosítanak a legelő állatok számára [5].

Növénytermesztés esetén a naperőművi struktúra jelentősebb változtatására van szükség. A naperőmű kultúrnövények termesztésére alkalmassá tehető, ha megnöveljük a napelemsorok távolságát, ezáltal a sorközök válnak művelhetővé. Valamint megoldható a napelempanelék megemelésével, ezáltal a napelempanelék alatti terület válik művelhetővé [6]. Kutatásom során a megemelt napelempanelékkel társított növénytermesztéssel foglalkozom.

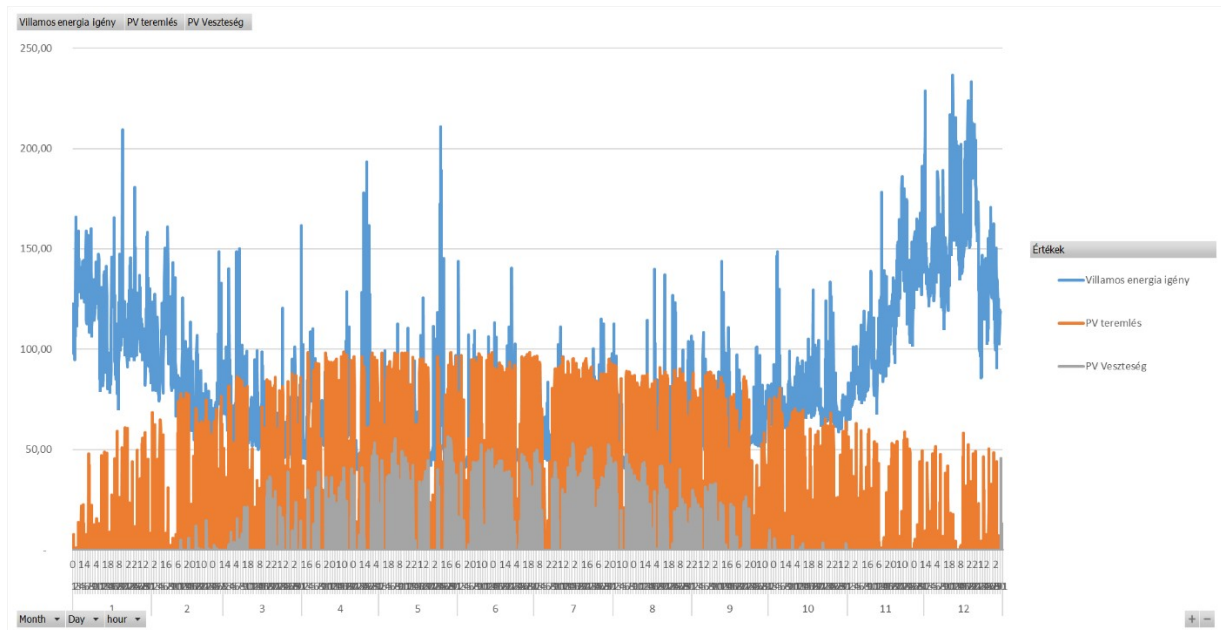
Világ szerte számos agro-fotovoltaikus rendszer található, melyek jellemzően kutatási szakaszban vannak. A technológiában Kína tart a legelőrébb, itt több mint 12GWp beépített teljesítményű agro-fotovoltaikus rendszer került már telepítésre, melyek lefedik a mezőgazdaság teljes spektrumát [7]. Európában Franciaországban dolgozták ki elsőként az agro-fotovoltaikus rendszerek jogszabályi környezetét, valamint támogattak is ilyen projekteket összesen 15 MW beépített teljesítménnyel [8]. Magyarországon jelenleg nem

található működő növénytermesztéssel kombinált agro-fotovoltaikus rendszer,

A napelempanellek hatással vannak a talaj közelében kialakuló mikroklímára. Csökkentik a hőmérséklet ingadozás mértékét, a téli időszakban növeli, a nyári időszakban csökkentik a talaj hőmérsékletét [9]. A napelempanellek alatt jellemzően csökken a párolgás, ezenfelül védelmet biztosítanak az erős napsütéstől, valamint a heves esőzések és a jégeső mechanikai hatásai ellen. A növények párologtatása pedig csökkentheti a napelempanellek hőmérsékletét [10].

Tesztrendszer előkészítése

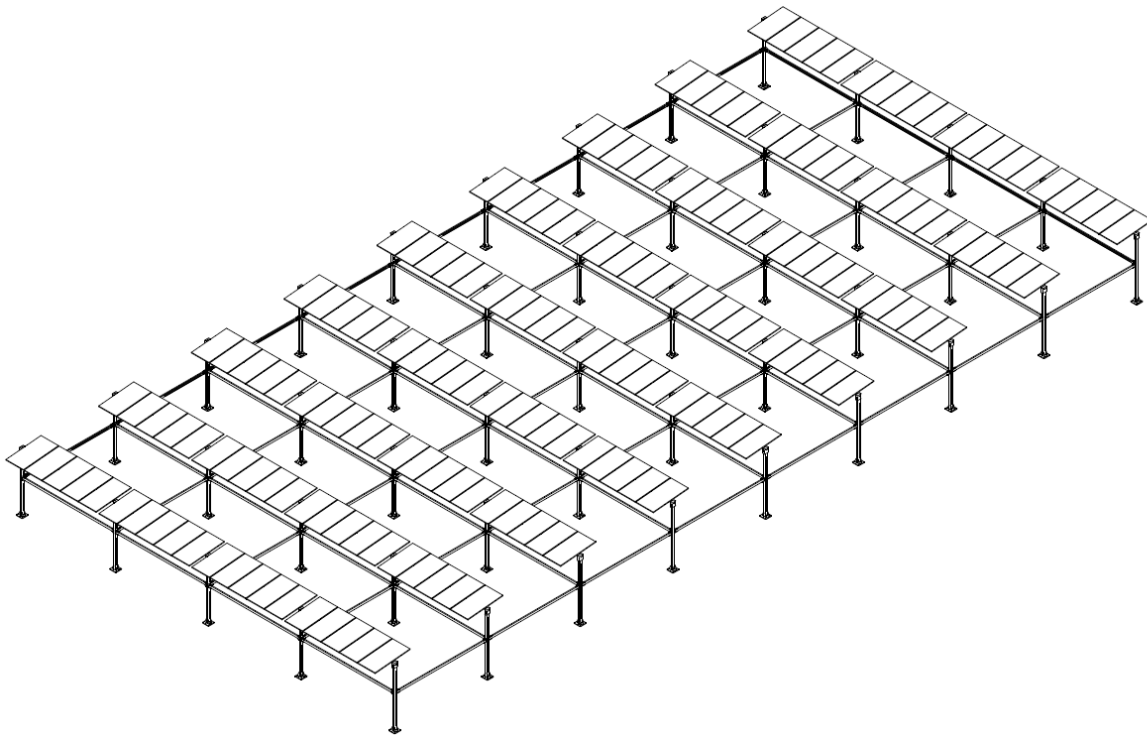
A nemzetközi szakirodalom áttekintését követően megkezdtem a kialakítandó agro-fotovoltaikus tesztrendszer előkészítését. A naperőművi rendszer engedélyeztetési folyamat az önfogyasztást csökkentő, vissz-watt védelemmel ellátott rendszerek esetén egyszerűbb és gyorsabb, így a telepítendő tesztrendszert is vissz-watt védelemmel tervezem ellátni. Vissz-watt védelem alkalmazása esetén a naperőmű által megtermelt energia nem táplálható vissza a közcélú hálózatba, azzal csak a telephely belső fogyasztása csökkenthető [11]. Az optimális beépített teljesítmény meghatározásához összevettem a telephely idősoros fogyasztási adatait a naperőmű várható idősoros teljesítményével (1. ábra). Ezek alapján a beépített AC oldali teljesítményt 100 kW-ban határoztam meg.



1. ábra Telephely fogyasztás és várható naperőművi termelés

Az optimális teljesítmény meghatározását követően a naperőmű tervezése szempontjából fontos a megfelelő tartószerkezeti típus kiválasztása. Jelenleg számos konstrukció elérhető, amelyek más-más körülmények között optimálisak. A területre érkező besugárzás lehető legjobb kihasználása érdekében egyre nagyobb teret nyernek a forgatható napelemes rendszerek, melyek segítségével a napelempanel optimális szögbe állíthatóak. Ezen megoldások közül a legjobb ár-érték arányt az egy tengelyen kelet-nyugati irányban forgatható szerkezetek képviselik, melyek segítségével követhető a Nap napon belüli mozgása [12]. A forgatási algoritmus a naperőmű telepítését követően is módosítható, ezáltal lehetőséget biztosít a hagyományos napkövetéstől eltérő forgatási algoritmusok tesztelésére is. A telepítendő tesztrendszer naperőművi struktúrájának alapjául ezt a megoldást választottam. A kijelölt területen 9 db észak-déli irányban elhelyezett egy tengelyen kelet-nyugati irányban forgatható napelempanel sor kerül elhelyezésre.

A tartószerkezet típusán kívül fontos a napelempanellek típusának meghatározása is. Naperőművi termelés szempontjából mérlegelendők a hagyományos és a kétoldalú (bifacial) panelek, növénytermesztési szempontból pedig az egyes típusok fényáteresztő képessége fontos szempont [13]. Kutatásom során tervezem vizsgálni a nem fényáteresztő és részben fényáteresztő napelempanellek mikroklímára és növénytermesztésre gyakorolt hatásainak különbségét, ezért a tesztrendszerbe nem fényáteresztő és részben fényáteresztő bifacial panelekkel ellátott sorok is kerülnek.



2. ábra Tervezett naperőművi rendszer

A telepítendő növénykultúra kiválasztása során olyan növényt kerestem, amely árnyéktűrő, vagy az erős fényre érzékeny, jellemzően öntözéssel telepített, érzékeny a szélsőséges időjárási körülményekre és gyakran telepítik különböző mechanikai védelmekkel. Ezekon felül fontos szempont volt a művelés helyigénye, a termesztett termék termény értéke. Valamint

figyelembe vettem, hogy a növény jelenlegi is része legyen a magyar mezőgazdasági termelésnek. A felsorolt szempontok alapján a málnát választottam a tesztrendszerbe telepítendő növénynek. A növénykultúra művelésének helyigénye egyúttal meghatározta a napelemek szükséges megemelési magasságát, így a tesztrendszerben a napelempanelék szélső forgatási állásban is minimum 2,1 m távolságra helyezkednek el talajtól (2. ábra).

További kutatási feladatok

Az agro-fotovoltaikus rendszerek megjelenése hatást gyakorol a termelt növénykultúrák gépesíthetőségére és automatizálhatóságára. A tartószerkezet jellemzően jelentős méretbeli korlátozást jelent az alkalmazható eszközökre. Ezzel párhuzamosan az elérhetővé válik a területen a villamos energia, amely elősegítheti az elektromos hajtású eszközök alkalmazását. Kutatásom során vizsgálni fogom az agro-fotovoltaikus tesztrendszer hatását a málna művelhetőségére.

A tesztrendszer előkészítését követően egy olyan komplex mérőrendszert tervezek kialakítani a telepített rendszeren, amely segítségével az energiatermelés, a növénytermesztés és a környezet mennyiségi és minőségi paramétereit megfelelő részletességgel rögzíthetőek. Ennek segítségével lehetőségem nyílik a teljes rendszer vizsgálatára az energiatermelés és mezőgazdasági termelés fontos paramétereinek összehasonlítására különböző konstrukciók esetén.

A termőföld lehető legjobb kihasználásához elengedhetetlen az energiatermelés és a növénytermesztés együttes optimalizációja. Ennek során szükséges elemezni a növénykultúra és a napelemek optimális

környezeti igényeit, valamint az egyes paramterek módosításával járó kihozatali eltéréseket. Az energiatermelés és a növénytermesztés szempontjából egyaránt fontos a beérkező fény teljesítménye és spektruma, a megvilágítás időbeni lefutása.

Kutatásom során ~~létre~~tervezem optimalizálni az egy tengelyen forgatható napelemes rendszerek forgatási algoritmusát a málnatermesztés megvilágítási igényeit figyelembe véve.

A megújuló energiaforrások részarányának növelése hatással van a villamosenergiarendszer kialakítására és stabilitására is. A klasszikus villamosenergia rendszerben egyértelműen megkülönböztethetőek a fogyasztók a termelőkötől. A termelők menetrendtartási képessége pedig az üzemzavarok kivételével rendkívül jó. A megújuló energiaforrások tömeges megjelenésével elérhetővé vált a kis koncentrációjú, decentralizált energiatermelés, a piaci szereplők egyszerre mutatnak fogyasztói és termelői tulajdonságokat [14]. A termelők menetrendtartási képességét pedig jelentősen befolyásolja az időjárás előrejelzésének pontossága [15]. Ezen változások csökkentik a villamosenergia rendszer stabilitását, ezáltal az ellátásbiztonságot.

A stabilitás fenttartása érdekében nagyobb mennyiségű rendszerszintű szabályozási tartalék rendelkezésre állására van szükség. Ezen tartalékigények jellemzően nem megújuló energiaforrásokból kerülnek biztosításra. A napenergiát hasznosító erőművek jellemzően csak le irányú szabályozási tartalékot tudnak biztosítani, meglévő teljesítményüket tudják a kívánt mértékben csökkenteni az inverterek leszabályozásával, vagy

trackeres rendszerek esetén a napelempanelek optimális helyzetből való kiforgatásával [16].

Kutatásom során elemezni tervezem az agro-fotovoltaikus rendszerek felszabályozási kapacitási potenciálját azokban az esetekben, amikor az energiatermelésre és a növénykultúra igényeire egyaránt optimalizált forgatási algoritmusok kerülnek alkalmazásra.

Az eddig elvégzett kutatásom megalapozta az agro-fotovoltaikus tesztrendszer gyakorlati megvalósítását, amely várhatóan értékes információkat szolgáltat majd a fenntartható energiatermelés és a mezőgazdasági termelés összehangolásáról. A következő időszakban a rendszer telepítése, a mérőeszközök beüzemelése és az első adatgyűjtési fázis elindítása a cél. A gyűjtött adatok lehetőséget biztosítanak a növénytermesztés és energiatermelés közötti kölcsönhatások részletes vizsgálatára, valamint a forgatási algoritmus finomhangolására a málnatermesztés sajátosságaihoz igazítva. Hosszabb távon célom egy olyan modell kidolgozása, amely támogatja az agro-fotovoltaikus rendszerek szélesebb körű hazai alkalmazását.

Hivatkozások

[1]	„World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2024,” 2024. [Online]. Available: https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html .
[2]	<i>Nemzeti Energia és Klíma Terv, 2023.</i>
[3]	E. Y. L. V. L. V. A. P. a. E. S. S. Alexander V. Klovov, „A Mini-Review of Current Activities and Future Trends in Agrivoltaics,” <i>Energies</i> , %1. kötet16, %1. szám7, p. 3009, 2023.
[4]	<i>The European Green Deal, 2019.</i>
[5]	C. W. H. M. A. S. M. G. S. A. Alyssa C. Andrew, „Herbage Yield, Lamb Growth and Foraging Behavior in Agrivoltaic Production System,” <i>Frontiers in Sustainable Food Systems</i> , %1. kötet5, p. 659175, 2021.
[6]	„Zimmermann PV-Agri,” [Online]. Available: https://pv-agri.de/en/our-systems/ . [Hozzáférés dátuma: 29 04 2025].
[7]	I. S. D. Ö. E. Ö. D. K. N. W. C. R. Max Trommsdorff, „Agrivoltaics: solar power generation and food production,” in <i>Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems</i> , Academic Press, 2022, pp. 159-210.
[8]	Z. G. 1. ,. P. L. 2. ,. A. P. 1. a. A. B. 1. Aidana Chalgybayeva 1, „Worldwide Research Trends in Agrivoltaic Systems - A Bibliometric Review,” <i>Energies</i> , %1. kötet2, %1. szám16, p. 611, 2023.
[9]	A. B. J. H. S. Z. I. L. P. H. Axel Weselek, „Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different,” <i>Agronomy for sustainable development</i> , p. 59, 2021.
[10]	M. A. P.-Z. R. L. M. L. F. S. Greg A. Barron-Gafford, „Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands,” <i>Nature Sustainability</i> , %1. kötet2, pp. 848-855, 2019.
[11]	[Online]. Available: https://www.eon.hu/hu/uzleti-es-kozigazgatasi/ugyintezes/muszaki-ugyek/aram/kiseromuvek-csatlakozasi-lehetsegei.html . [Hozzáférés dátuma: 23 04 2025].
[12]	H. A. J. S. C. Humayun Kabir, „Analysis of Solar Panel Power Investigation using Fixed Axis,” in <i>Elsevier</i> , 2025.
[13]	R. V. T. K. A. k. L. S. R. Guerrero-Lemus, „Bifacial solar

	photovoltaics - A technology review," <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , pp. 1533-1549, 2016.
[14]	U. K. S. a. A. S. Shahzad, „Protection of Distributed Generation:," <i>Energy and Power</i> , %1. kötet9, pp. 614-653, 2017.
[15]	S. Chen, J. L. Mathieu és P. Seiler, „The Effects of Renewable Power and Forecast Error Correlation on Balancing Reserve Needs," in <i>IEEE</i> , Auckland, New Zealand, 2024.
[16]	P. Swain, S. Jagadish és K. N. S. U. Mahesh, „Integration of renewable sources of energy into power grid," in <i>IEEE</i> , Cochin, India, 2017.