SZENT ISTVÁN EGYETEM

Nap és szélenergiás hibrid rendszerek energetikai modellezése

Doktori értekezés tézisei

Bartha Sándor

Gödöllő
2009

A doktori iskola megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárenergetika

vezetője: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,

témavezető: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet

Farkas

…… az iskolavezető jóváhagyása

Farkas

…… a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 4
1.1. A választott témakör jelentősége 4
1.2. Célkitűzések 4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER 5
2.1. Energetikai célú szélmérsek 5
2.2. Az elemzéshez használt fontosabb összefüggések 6
2.3. Fotovillamos rendszerek jellemzése 7
2.4. Hibrin nap és szélenergiás hibrid rendszerek jellemzése 9
3. EREDMÉNYEK 10
3.1. Meteorológiai helyzetelemzés 10
3.1.1. Szésebesség *adatok elemzése* 10
3.1.2. Kis teljesítményű szélgenerátorok energiatermelése 12
3.1.3. *Szélsebesség mérők szélcsatornás mérési eredménye* 12
3.1.4. *Napsugárzási adatok elemzése* 13
3.2. Hibrid fotovillamos szélenerga termelő rendszerek elemzése 14
3.2.1. Hibridrendszerre jellemző paraméreterk elemzése 14
*3.2.2.*A fotovillamos rendszer méretezési összefügései 14
3.2.3. Nap és szélenergia potenciál komplemetarítása 15
3.2.4.Pv modult jellemző jellegörbét leíró model 16
3.2.5.Hibrid nap és szélenergiát hasznosító rendsze relemzése 16
3.2.6. *Nappálya diagramm szerkesztő mode*l 17
3.2.7. *Hibrid nap és szélenergiás rendszer energiatermelése* 17
3.2.8**.** *Hibrid rendszerek gazdasági elemzése* 21
4. Új tudományos eredmények 24
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 27
6. ÖSSZEFOGLALÁS 28
7. SZAKMAI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE 29

1. BEVEZETÉS

1.1. A választott témakör jelentősége

Az Európai Unió célkitűzése, hogy a megújuló energiahordozó-felhasználás részarányát 2010-ig 12%-ra, a megújulókkal termelt villamos energia részarányát pedig 22,1%-ra növeljék (2001/77/EK irányelv). Az EU 2007 márciusi brüsszeli találkozóján az a döntés született, hogy a 27 tagállam átlagában el kell érni a 20% megújulóenergia részarányt. A földrajzi és gazdasági adottságok mérvadóak abban, hogy mely területen melyik megújuló energiafajta alkalmazása a hatékonyabb. Jelenleg a Kelet Európai térségben még sok gazdaság található, amely villamos energiaellátása még megoldatlan. Erre egy kézenfekvő megoldás lehet a megújuló energiaforrásokkal (nap és szél esetenként hidro) üzemelő rendszerek telepítése. A téma időszerűsége ma már nem kérdéses mivel egyre több nap és szélenergiát alkalmazó rendszer létezik. A rendszerek a telepítésükkor fontos egy helyzetelemző tanulmány elvégzése annak érdekében, hogy a legmegfelelőbb technikai megoldást lehessen alkalmazni. Ezért fontos olyan rendszermodell kialakítása, amely egy optimális energetikai megoldásra ad választ.

1.2. Célkitűzések

Jelen kutatási munkám célja:

A témához kapcsolódó szakirodalom részletes elemzése.

A nap és szélpotenciál és a teljesítmény meghatározása mért adatok alapján, amely különösen a Fekete-tenger partvidékére jellemző.

A nap és szél teljesítmény adatok komplementaritásának az igazolása.

Egy olyan optimális struktúrájú fotovillamos és szélenergiát hasznosító rendszer kifejlesztése, amely egy kis gazdaság autonóm villamos energiaellátását megoldja.

Kisteljesítményű szélgépek energetikai jellemzése.

Az optimális megújuló, valamint fotovillamos és szél energiatermelés arány meghatározása.

Az energiatermelés és fogyasztási arány valamint az ideális dőlésszög közti kapcsolat elemzése.

Anemométerek szélcsatornás tesztelése.

A termelt villamosenergia tárolási lehetőségeinek a meghatározása, a tároló méretezése és a PV rendszert alkotó modulok jellemzése.

Egy energiabiztonsági rendszer kialakítása, amely megvédi az akkumulátorokat a mélykisüléstől.

Egy preventív, a PV modulok árnyékolását elkerülő környezeti elemzést végző módszer kialakítása

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben bemutatom az általam vizsgált fotovillamos szélenergiás rendszert. Továbbá itt ismertetem az általam alkalmazott modellezési módszert.

2.1. Energetikai célú szélmérsek

A mérések három fő csoportba oszthatók, vagyis:

Informatív jellegű szélmérések, amelyek a meteorológia állomások által végzett mérések, ezek átlagos adatokat rögzítenek.

Telepítési célú szélmérések, ezek a mérések a telepítés helyszínén történnek és az adott helyszín szélpotenciálját, határozzák meg, gondosan elvégzett kiértékelés alapján.

Ellenőrző mérések, lehetnek korábban beindított mérések általában a szélparkok keretében alkalmazzák és ellenőrző jellegűek.

Minden esetben a mérés időtartama legalább egy éves futamidejű legyen. A méréseim során egy forgókerekes szélsebességmérőt használtam, a szélnek kitett érzékelőrész forgásba jön bármilyen is legyen a szélirány. Az érzékelő forgásából meghatározható a közepes szélsebesség. A végzett mérések informatív jellegűek, a torony magassága 30 m, az érzékelőket 10, 20 és 30 m magasságban helyeztük el. Mivel a szigetüzemű rendszerek esetében a kisteljesítményű szélgenerátorok maximum 10-20 m magasságban üzemelnek, ezért a mérési adatokat ezen magasságon értékeltem ki. Az anemométereket és a szélirányméröt úgy kell rögzíteni, hogy az oszlopszerkezet és a rögzítési megoldások ne befolyásolják az érzékelők körüli áramlást. Az adatfelbontás a szélsebesség esetében 0,1 m/s, míg a szélirány mérésekor 1 fok. A mintavételezési időt 1 percre rögzítettem és az órás átlagok alapján határoztam meg a napi átlag szélsebességet. A mérési rendszer adatgyűjtője NRG Symphonie, amelyhez három szélsebesség és két szélirányméró kapcsolódik, típusa NRG 40 C és NRG 200P. A mérőrendszert a 2.1. ábra szemlélteti.

2.1.ábra NRG mérőrendszer

2.2. Az elemzéshez használt fontosabb összefüggések

- **A szélsebesség időbeli változása, Weibull eloszlás**

Az eloszlás alakja:

$$f(v) = \frac{k}{C}\left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^{k}}, \tag{2.1}$$

ahol :

v a szélsebesség, [m/s]

C a skálatényező, [m/s]

k az alaktényező.

Ha k= 2

- **Rayleigh eloszlás függvény alakja**:

$$f(v) = \frac{\pi}{2}\frac{v}{v_a^2} e^{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \tag{2.2}$$

ahol: v_a az átlagos szélsebesség

- **Szélsebesség változás a magasság és a környezeti tényezők hatására**

A szélsebesség egy tetszőleges ***h*** magasságban az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v(h_2) = v(h_1)\frac{\ln\left(\frac{h_2 - d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1 - d}{z_0}\right)} \tag{2.3}$$

ahol:

$v(h_1)$ és $v(h_2)$ a megadott magasságokon mért szélsebességek

d, egy paraméter-helyettesítő magasság, amely a környezeti akadályok jelenlétére utal, akadálymentes helyszínen értéke 0, és akadályok esetében értéke 70%-a az akadály magasságának.

z_0 a felszíni egyenetlenség mértéke, ez a területen található növényzettel

- **A szélerőmű teljesítménye**

Betz törvénye alapján egy szélerőmű a szél kinetikus energiájának 59%-át tudja mechanikai energiává alakítani. A turbina karakterisztikájától függetlenül a szélgép energiatermelése a helyszíni szélsebesség szerint határozható meg. Adott szélsebességek esetén az adott teljesítményűrűség értekét a 2.1. táblázat szemléltet.

2.1. táblázat Teljesítménysűrűség változása a szélsebességgel

Szélsebesség (m/s)	5	10	15	20	25
Teljesítménysűrűség (W/m^2), normál légköri nyomás és 1,225 kg/m^3 légsűrűség esetén	76.6	612	2067	4900	95700

A szakirodalom a szélgépek teljesítmény számítására a szélsebesség eloszlás elemzésekor a Rayliegh eloszlást alkalmazza, Paul Gipe felhasználja a teljesítmény becsléskor a Golding féle tényezőt, (EPF-Energy Pattern Factor), amely értéke 1,91. Ismerve a szélsebesség adatok éves értékeit és felhasználva az előbbi összefüggéseket meghatározhatjuk a teljesítmény-sűrűség és az éves energiatermelés értékét az adott átlag szélsebesség értékre. A számításkor az alábbi összefüggések alkalmazhatók:az alapszámítás a Betz képlet szerint egy adott A felületre:

$$\frac{P}{A} = \frac{P_{\max}}{A} = 0.6125 v^3 EPF, [W/m^2] \tag{2.4}$$

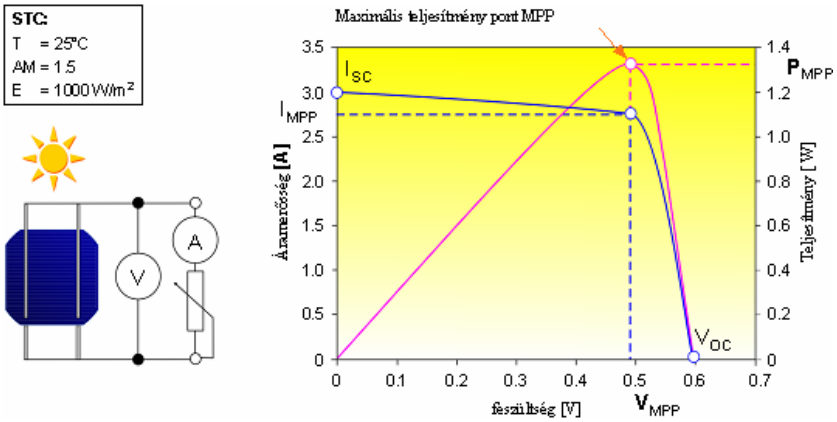
ahol: v az éves átlag szélsebesség,
EPF a Golding tényező,
A a rotor felülete.

Ismerve a fenti értékeket, meghatározhatjuk az éves energiatermelés elméleti értékét, ha alkalmazzuk az alábbi összefüggést, ahol *t* az évi órák számát jelöli:

$$\frac{E}{A} = \frac{P_{\max}}{A} \times t = 0.6125 v^3 \frac{8760}{1000} EPF, [kWh/m^2] \tag{2.5}$$

2.3. Fotovillamos rendszerek jellemzése

A fotovillamos rendszer fő alkotóeleme a napelem, amely a napenergia villamos energiává történő átalakítását végzik, a napelemet az adott fényviszonyok esetén a legnagyobb villamos teljesítménytermelésre alkalmazzuk. Ezért fontos a napelem feszültség- áramerősség, illetve feszültség és teljesítmény jelleggörbéjének az ismerete. A görbének egy adott ponton maximuma van, amely megfelel a maximális teljesítmény pontnak (MPP). A görbét egy maximális áramerősség értékkel (Isc)- rövidzárási áram és egy maximális feszültség (V_{oc}) – üresjárási feszültség értékkel is jellemezzük. A napelem teljesítmény és a feszültség áramerősség jelgörbéjét a 2. 2. ábra szemlélteti, amelyen láthatók a felsorolt jellemző paraméterek.

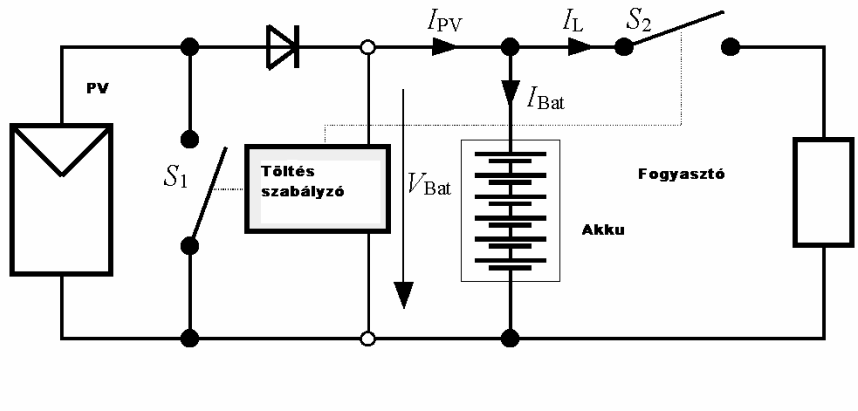


2.2. ábra Napelem áramerősség-feszültség, és teljesítmény jelleggörbéje

A kísérletek során egy PV mezőt használtam, amely Kyocera KC 40-es napelem modulokból tevődik össze. A modul tulajdonságai az alábbiak:

Maximális teljesítmény: 43 W_p
Hatásfok, modul/cella: 13/16%
Rövidzárási áram: 2,65 A
Üresjárati feszültség: 21,7 V
Maximum teljesítményhez tartozó feszültség: 17,4 V
Maximum teljesítményhez tartozó áramerősség: 2,48 A

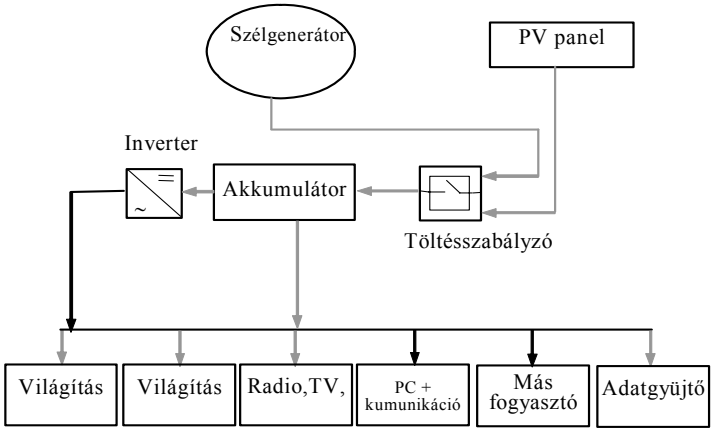
Az így kialakított PV mező egy energiaellátó rendszert alkot, 2. 3. ábra, amely szigetüzemmódban működik. A rendszer a termelt energiát akkumulátorokban tárolja, míg a fogyasztók ellátását egy inverteren keresztül valósítjuk meg.



2. 3. ábra Szigetüzemű fotivillamos rendszer

2.4. Hibrid nap és szélenergiás rendszerek jellemzése

A szigetüzemű energiaellátó rendszerek teljes energia szükséglet PV modulokkal történő ellátása sok esetben költséges. Ez nagy felületet igényel, továbbá a téli hónapokban a kevés napsugárzás miatt az energiaellátás nagy tároló kapacitások segítségével biztosítható. A felsorolt hátrányok arra utalnak, hogy egy szigetüzemű rendszer tervezésekor más energiaforrásokat is alkalmazhatunk és ezek hatékony működtetésével a rendszerünket gazdaságosan üzemeltethetjük. A hibrid rendszerek esetében több típusú generátort alkalmazunk, amelyek kapcsolási módját a 2.4. ábra szemlélteti. Az ábrán látható PV generátor mellet egy szélgenerátor is beépül a szigetüzembe.



2.4. ábra Hibrid fotovillamos-szél rendszer felépítése

A gyakorlatban a hibrid szigetüzemű rendszerek esetében kis szélsebességen induló szélgenerátorokat ajánlott használni. A termelt energiát akkumulátorban tároljuk, míg a fogyasztókat inverter felhasználásával látjuk el megbízható frekvenciájú és feszültségű villamos energiával. Kis teljesítményű generátorok esetében a Steca, míg nagyobb beruházásoknál SMA Sunny Island típust alkalmazhatjuk, amelyek kompatibilisek a helyi hálózattal és kis szélgépeket és dízel generátort is közvetlenül rákapcsolhatunk. A mérések során egy 1 kW csúcsteljesítményű szélgenerátort használtam, amely a Fekete-tenger partján üzemel. A szélgenerátor típusa Bergey Windpower XL 1, amely tulajdonságai az alábbi adasorban láthaók:

Gyártó	Típus	Lapátkerék átmérő, (m)	Lapát által súrolt felület, (m^2)	Névleges teljesítmény, (kW)	Szélsebesség érték* (m/s)
Bergey windpower	XL 1	2.5	4.91	0.98	11

*a névleges teljesítményhez tartozó szélsebesség

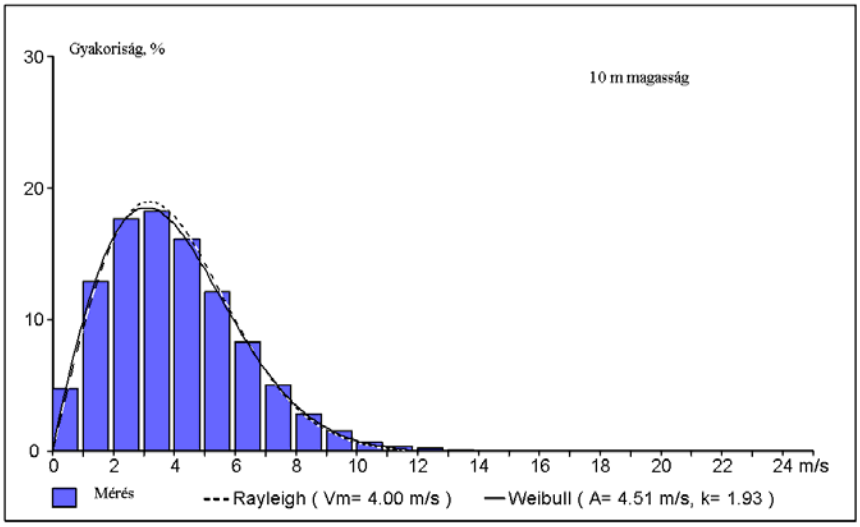
3. EREDMÉNYEK

A dolgozat azon eredményeit ismertetem itt röviden, melyekhez kapcsolódóan téziseket fogalmaztam meg.

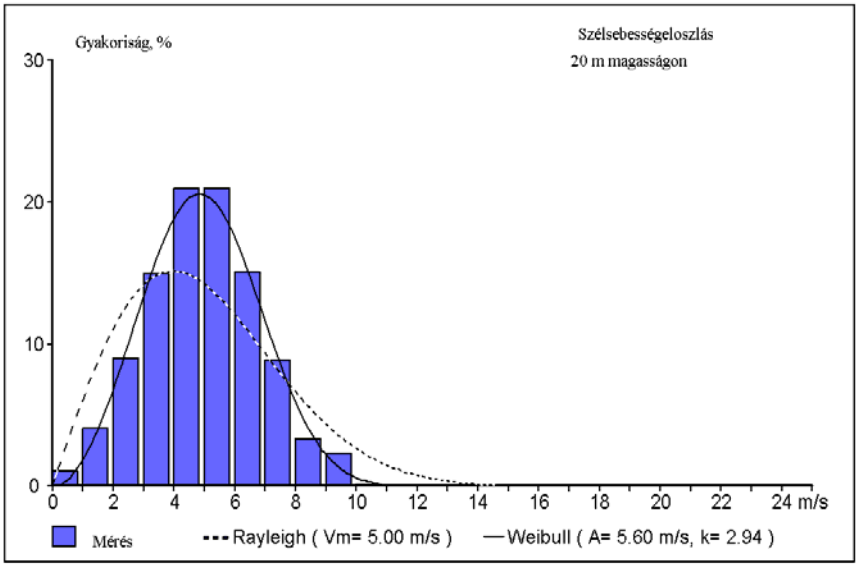
3.1. Meteorológiai helyzetelemzés

3.1.1. Szélsebesség adatok elemzése

A méréseket Agigean végeztem és mérési időszakra jellemző szélsebesség eloszlásokat 10 és 20 m magasságon a 3.1 és 3.2 ábra mutatja.



3.1. ábra Szélsebesség-eloszlás 10 m magasságban



3.2. ábra Szélsebességeloszlás 20 m magasságon

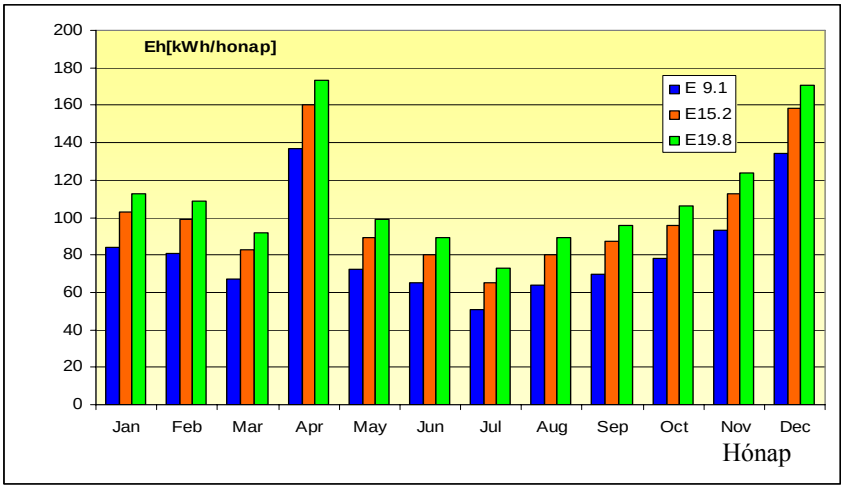
A mérési adatok alapján a helyszín az USA-ban alkalmazott és a Nemzeti Megújuló Laboratórium (NREL) által meghatározott módszer szerinti *2.* szélkategória osztályba sorolható. Mi szerint a szélsebesség és szélteljesítmény sűrűség adatai az alábbi adatsorban láthatók, összehasonlítva az *1.* és a *3.* szélkategóriás helyiségek adataival.

3.1. Táblázat NREL szerinti szélkategória meghatározása

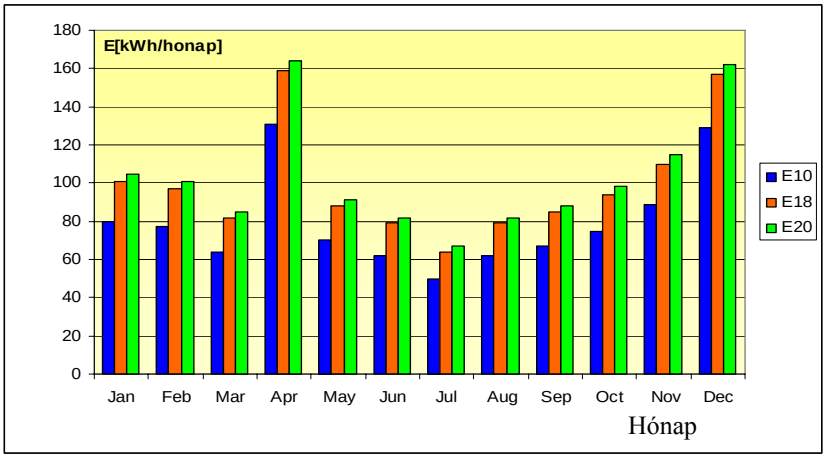
H[m]	10		30		50	
Osztály	v[m/s]	P[W/m^2]	v[m/s]	P[W/m^2]	v[m/s]	P[W/m^2]
1.	0- 4,4	0-100	0-5,1	0-160	0-5,6	0-200
2.	4,4-5,1	100-150	5,1-5,9	160-240	5,6-6,4	200-300
3.	5,1-5,6	150-200	5,9-6,5	240-320	6,4-7,0	300-400

3.1.2. Kis teljesítményű szélgenerátorok energiatermelése

Modellkísérleteim során meghatároztam több azonos névleges teljesítményű szélgenerátor energiatermelését az agigeai szélviszonyokra különböző, a gyártok által forgalmazott oszlopmagasságokra. Az eredmények a 3.3. és 3.4. ábrán láthatók.



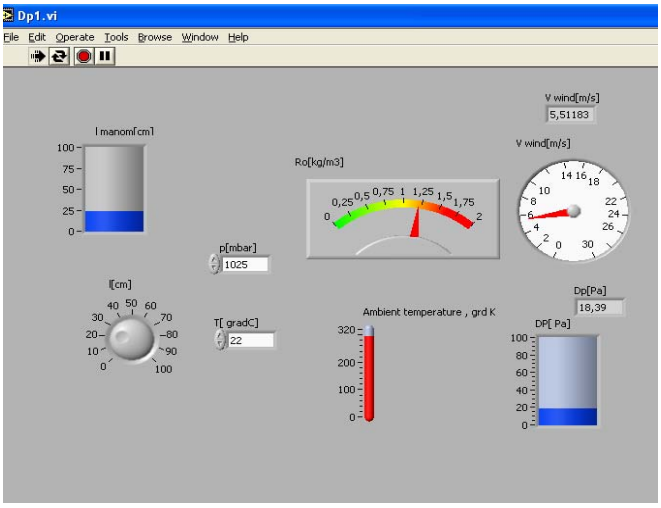
3.3.ábra Southwest Whisper 200 szélgenerátor havi energiatermelése(9, 15 és19 m magasságon)



3.4. ábra Bergey XL.1. szélgenerátor havi energiatermelése(10, 15 és 20m magasságon)

3.1.3. *Szélsebesség mérők szélcsatornás mérési eredménye*

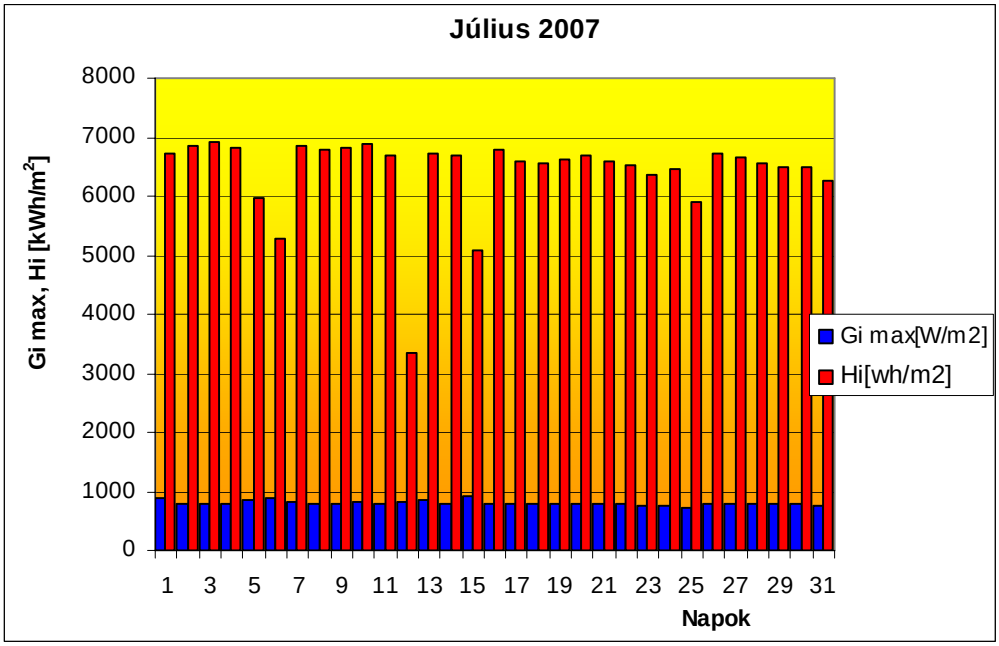
A Gunt szélcsatorna esetében a szélsebességek 0-28 m/s tartományban merhetők, maga a szélcsatornarész négyzet alakú és mérete 298x298 mm, az áramlást létrehozó levegő hozama 9000 m^3/h. A csatornához csatlakozó differenciál nyomásmérő 0-500 Pa tartományban mér. Rögzítettem a környezeti nyomás és a hőmérséklet értékét, és ezek segítségével meghatároztam a levegő sűrűségét. A szélcsatornához kapcsolódó ferdecsöves manométeren leolvasott értéket átszámoltam légsebesség értékre. Egy satikust modellt alkottam Lab View környezetben, amely elvégzi ezt az átszámolást (3. 5 ábra).



3.5. ábra Szélsebesség- mérés statikus modellje

3.1.4. *Napsugárzási adatok elemzése*

A kísérleteim során több elemzést végeztem az Agigea helységek napsugárzási értékeinek a meghatározására. A mérések és az adatbázisok elemzése az Enerpack rendszerrel készültek. A mérések napi bontásban kerültek feldolgozásra. A mérések során rögzítettem a négyzetméterenként beérkező globális sugárzás összegének változását, amelyet havi bontásban ábrázoltam. A sugárzás összegeket a PV panel felületének megfelelően a déli tájolású 45 º-os dőlésszögű globális sugárzás érzékelő mérési adatai alapján határoztam meg. A mérések során rögzítettem a sugárzás maximum értékét is. Például Déli tájolású 45º dőlésszögű felületre jutó napi globális sugárzás összegének alakulása 2007. július hónapban a 3.6. ábrán látható.



3.6. ábra Déli tájolású 45º dőlésszögű felületre jutó napi globális sugárzás összegének alakulása 2007. július hónapban

Az elemzett adatok alapján meghatároztam, hogy a téli félévben a globális sugárzás értéke a déli órákban 300-650 W/m^2, míg a nyári félévben, 600-1000 W/m^2. A térségben a szórt sugárzás értéke elérheti a 40-50%-ot is a globális sugárzás értékéből. Az adatokat összehasonlítottam a Metonorm adatbázisában található Konstanca-i adatokkal, amely a helyszíntől csekély 20 km- re található. A mérésekből látható, hogy a PV mező síkjára jutó globálsugárzás energiájának éves értéke 1350 kWh/m^2, míg a Meteonorm adatai alapján ez az érték 1400 körüli.A napi besugárzás értékének a meghatározására egy MATLAB SIMULINK modellt alkottam, amely az adatgyűjtő adataiból meghatározza a napi energiahozamot.

3.2. Hibrid fotovillamos szélenerga termelő rendszerek elemzése

A mérések keretében egy 1 KWp csúcsteljesitmányű fotovillamos és egy kiskategóriás szélgenerátorból kialakított rendszer éves energiamérlegét határoztam meg. A rendszer a Fekete- tenger partján, levő kutatóbázison található, ahol egy intelligens vezérlőelemekkel felszerelt épület energiaellátását biztosítja.

3.2.1. Hibridrendszerre jellemző paraméreterk elemzése

Szigetüzemű hibrid rendszert jellemző paraméterek:

- a fotovillamos és szélgenerátor tulajdonságai, névleges teljesítményértéke
- a két energiaellátó rendszer aránya
- az energiatároló rendszer tárolókapacitása, a mélykisülési tényező értéke és a akkumulátor töltés állapota (SOC), amely egyik fontos tényező a tároló rendszer jellemzésére,
- az üzemszünetmentes napok száma
- a teljesítmény kiesési index (LOLP- loss of load probability)

Mindezen paraméterek ismeretében jellemezhetjük a rendszert.

*3.2.2.*A fotovillamos rendszer méretezési összefüggései

A fotovillamos rendszer teljesítményét az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$PV(felület) = \frac{E_l}{H\eta_{PV}TCF\eta_{rendszer}} \tag{3.1}$$

Ahol a H, a napsugárzás napi átlag energiahozam (kWh/ m^2, nap)

TCF, a hőmérsékleti tényező értéke 0,8 továbbá figyelembe kell venni a rendszer hatásfok értéket, amely az inverter (0,9) és a tároló hatásfok (0,85) szorzata. A PV modul hatásfoka jelen esetben 12 %.

$$PV(felület) = \frac{2.4}{3.68 \times 0.8 \times 0.12 \times 0.765} = 8.88, m^2$$

A kapott felület értéket szorozva a PV modul hatásfokával és a földfelszínt elérő sugárzás maximum értékével (PSI=1000W/m^2) megkapjuk a napelem mező csúcsteljesítményét, (4.5) egyenlet .

$PV_{WP} = PV_{felület} PSI \eta_{PV}$, elvégezve a műveleteket:

$$PV_{WP} = 8.88 \times 1000 \times 0.12 = 1056, Wp$$

Ha a PV mező kialakítására Kyocera KC 50 típusú napelemeket használunk, amely csúcsteljesítménye 53 Wp akkor a fogyasztás teljes lefedésére éves üzemmódban N darab modulra van szükségünk, amelyet az alábbi egyenlettel határoztam meg:

$$Nr_{PV\,\mathrm{mod}ol} = \frac{PV_{WP}}{P_{WP\,\mathrm{mod}ul}} = \frac{1056}{53} = 19.92$$

Vagyis a PV mező kialakításához 20 darab, KC 50, vagy 24 darab KC 40 napelemre lesz szükség. A tárolókapacitást, figyelembe véve a mélykisülési tényező DOD- 80 % értékét, az alábbi egyenlettel határoztam meg.

$$C_{bat} = \frac{N_c E_l}{DOD \times \eta_{rendszer}};$$

$$C_{bat} = \frac{3 \times 2.4 \times 1000}{0.8 \times 0.765} = 11765 \cdot Wh$$

$$C_{bat} = \frac{11765}{24} = 490 Ah$$

Ahol az N_c a rendszer autonómiájára utaló napok száma. Jelen esetben 3 napra terveztem a tárolókapacitás autonóm üzemelését. Ebben az esetben a cél a minimális tárolókapacitás kialakítása, amelyet 12 darab Fulmen gyártmányú Solar 470 savas akkumulátorral biztosítottam.

3.2.3. Nap és szélenergia potenciál komplemerítása

A nap és szélenergiás hibrid rendszerek telepítése során egy adott helyszín meteorológiai adatainak az elemzésével arra a következtetésre jutottam, hogy a két energiaforrás komplementáris. A nyári időszakban a napenergia, a téliben pedig a szélenergia a domináns. A nyári időszakban a napenergia, a téliben pedig a szélenergia a domináns. Mindezt a keresztkorrelációs statisztikai módszerrel igazoltam. Amennyiben a keresztkorrelációs együttható (SI_{STAT}) értéke negatív, az elemzett adatsorok komplementárisak. Az adatsor jellemzésére a statisztikában használt keresztkorrelációs módszer alapján a 3.2. egyenletek felhasználásával meghatároztam a keresztkorrelációs együttható értékeit.

$$\chi(X,Y) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{N}(x_i - \mu_{xi}) \times (y_i - \mu_{yi}).$$

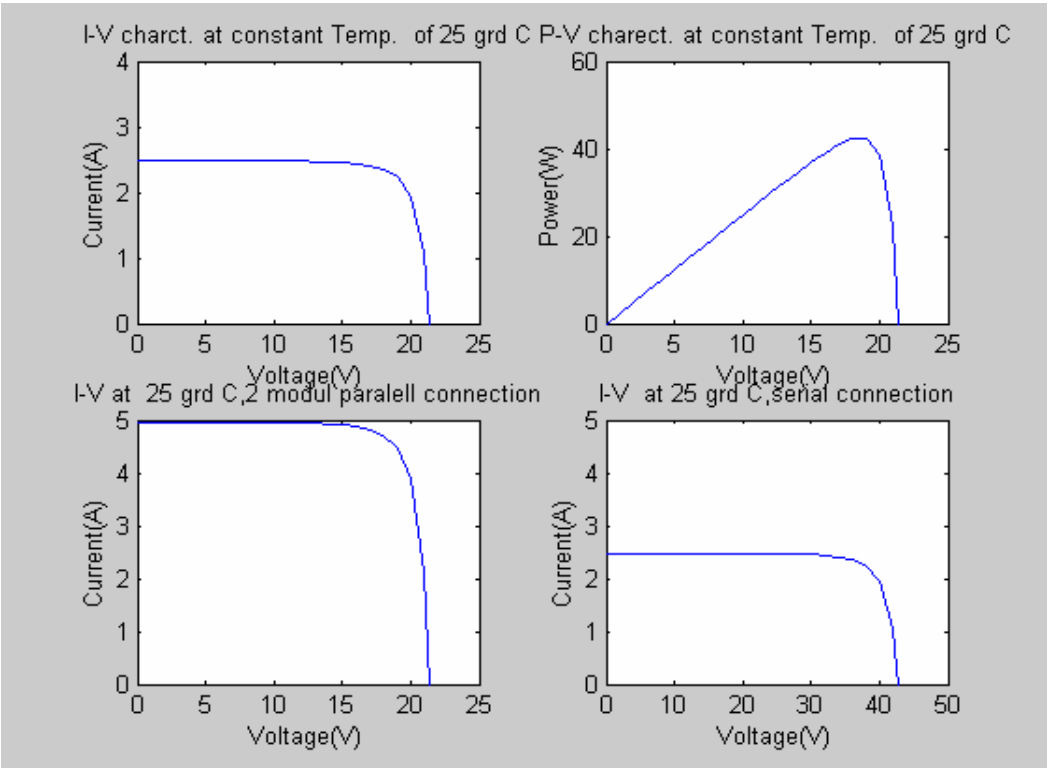
$$\mu_{xi} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} x_i \qquad (3.2)$$

$$\mu_{yi} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} y_i$$

ahol az x a szélpotenciál havi változása és az y a globális besugárzás havi átlaga. A Fekete-tenger partvidékére vonatkozó éves adatsorhoz tartozó keresztkorrelációs együttható értéke: SI_{STAT} = -1033 W^2/m^4, ami a komplemetaritást igazolja. Ennek havi változását az új tudományos eredmények fejezetben ábrázolom.

3.2.4.Pv modult jellemző jelleggörbét leíró modell

A PV modul gyakorlatban alkalmazott karakterisztikája az ún. áramerősség feszültség jelleggörbe. Ennek meghatározására, modellezésére több módszer is létezik, amelyek megoldása történhet analitikusan, illetve numerikusan. Az analitikus modellt felhasználva, MATLAB környezetben, ismerve a fotovillamos modul jellegzetes paramétereit, meghatároztam a modellt leíró paramétereket. A kapott eredményt a 3.7. ábrán szemléltetem.



3.7. ábra A Kyocera KC 4 modul áramerősség-feszültség jelleggörbéje

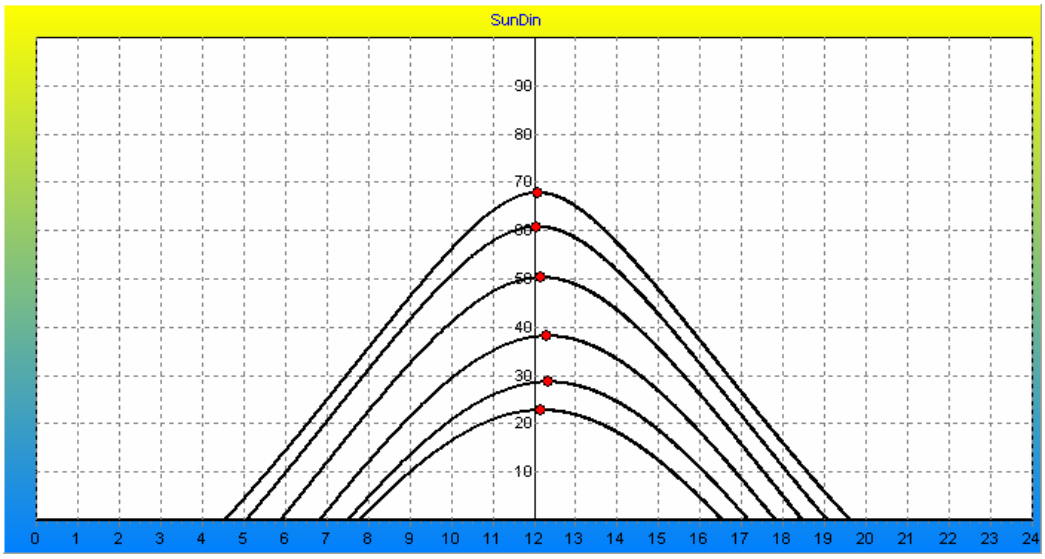
3.2.5.Hibrid nap és szélenergiát hasznosító rendszerelemzése

Az eddigi adatok alapján látható hogy a Sanglio elmélete igazolódik, vagyis egy hibrid rendszer keretében a PV/szél arány a fogyasztás függvényében adott. Növelve a fogyasztás értékét csökken a megújuló részarány a hibrid rendszer estében és növelve a tárolókapacitást egy adott határon túl már nem beszélhetünk hibrid rendszerről. Elemezve egy 1 kW_p csúcsteljesítményű PV és 1 kW_p csúcsteljesítményű szélgenerátorból kiépített hibrid rendszer energiamérlegét, olyan rendszerek vizsgálatával folytattam, amelynél a szélgenerátor teljesítménye állandó, és a PV értéke 1 kW_p-tól 200 Wp tartományban változik. Meghatároztam tehát a 0.8, 0.6, 0.5, 0.4.,0.3, 0.2 kW_p PV rendszerek energiahozamát. A kapott

eredmények adatait összehasonlítottam, és meghatároztam a kialakult megújuló arányt minden rendszer energiatermelésekor. A rendszervizsgálatot a Solar Design Studio Pro programjával végeztem. Ábrázoltam a kapott eredményeket, vagyis a megújuló energiaforrás részarányát a PV és a szélgenerátor beépített teljesítmény arányának a függvényében. A mérési adatok alapján számított illetve az illesztett értékeket az az új tudományos eredmények fejezetben megadott ábrán szemléltetem.

3.2.6. *Nappálya diagramm szerkesztő modell*

Egy tetszőleges helyszín nappálya diagramjának szerkesztésére alkalmas modellt dolgoztam ki. A diagram egy célorientált műszer felhasználásával alkalmazható fotovillamos rendszerek optimális tájolására és helyzetelemzésére. Ennek segítségével kiszűrhetők a környezetből az árnyékolást előidéző elemek, és megakadályozható a "hot spot" jelenség kialakulása, amely a PV modulok tönkremeneteléhez vezethet. A modellt a napmagasság szöge és az azimut szögek közti összefüggések alapján Delphi nyelvezetben készítettem felhasználva a helyszín földrajzi koordinátáit és időzónáját. A megadott egyenletekkel megszerkeszthető ez a diagram, amelyet a kért méretre nyomtathatunk és e célra készített eszközzel meghatározhatjuk a telepítendő PV rendszer környezetében található tárgyak, épületek árnyékoló hatását. A program az adatok bevitele után generál egy nappálya diagramot, amelyet pl. Constanta adataival a 3.8. ábra szemléltet.

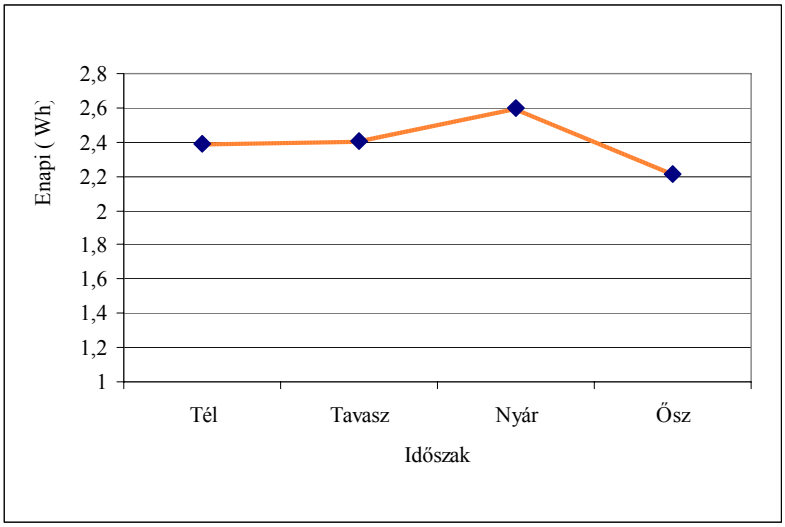


3.8. ábra. Szerkesztett nappálya diagram, Constanta

3.2.7. *Hibrid nap és szélenergiás rendszer energiatermelése*

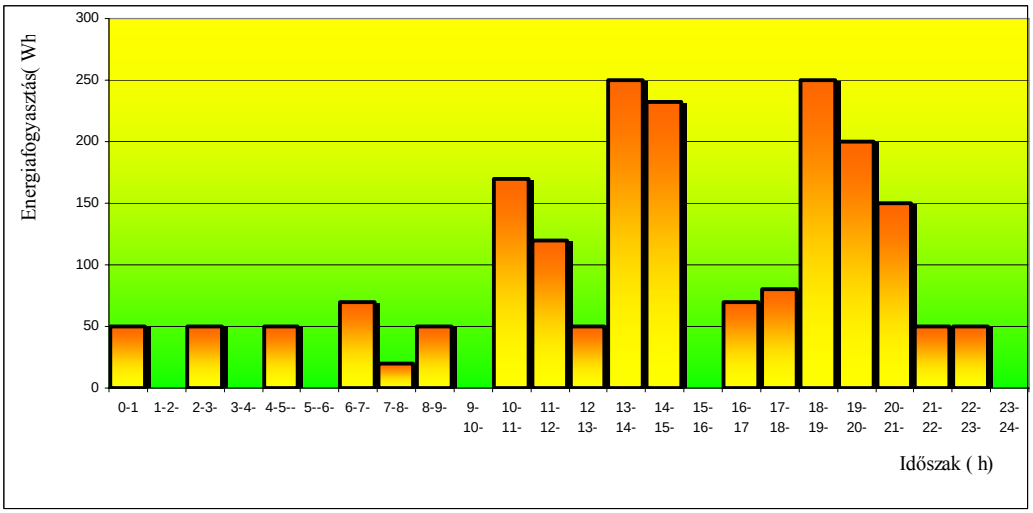
Mint ismeretes egy energia termelő rendszer tervezése az energiafogyasztás elemzésével kezdődik. A célkitűzéseim közt egy olyan rendszert alkotok, amely

egy kis gazdaság energiaellátását biztosítja. A fogyasztás napi értékét évszakonként a 3. 9. ábra ábrázolja.



3. 9. ábra. A napi energiafogyasztás évszakonkénti változása

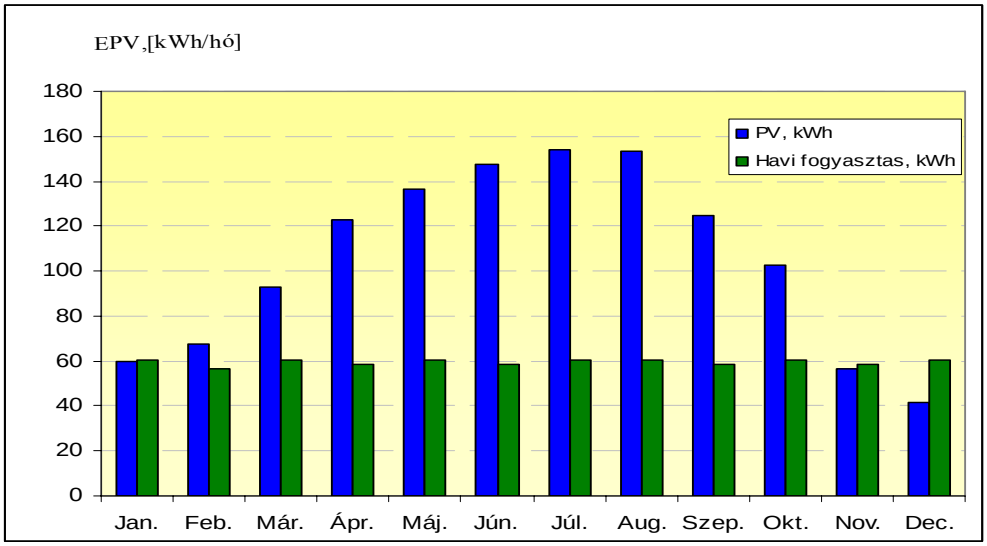
Továbbá becsültem az energiafogyasztás napi eloszlását, amely a 3.10. ábrán látható.



3. 10. ábra. Fogyasztás napi változása

Amint az ábra szemlélteti a fogyasztás időszakos eloszlása szerint a nappal ez az érték 40 % körüli, míg az este és éjszaka 60 %. Ezt az arányt figyelembe kell venni a tárolókapacitás mértezésekor, hisz ebben a periódusban csak a tárolt energiát tudjuk hasznosítani. Hibrid rendszer esetében is erre alapozhatunk, mivel a napi szélsebesség profilok elemzésekor kapott adatokból ebben a periódusban az órás szélsebességátlagok csökkenő tendenciát mutatnak. A 3.2. fejezetben

meghatározott PV rendszer energia termelése havi bontásban összehasonlítva a havi energiaigénnyel a 3.11. ábrán látható.



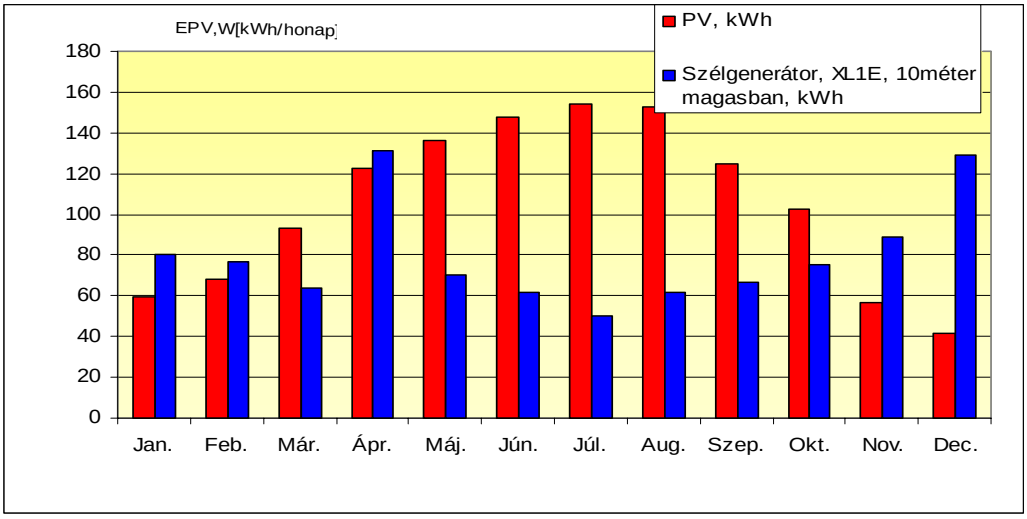
3. 11. ábra. 1 kWp fotovillamos rendszer energiatermelése összehasonlítva a havi fogyasztással

Mint látható a PV rendszer november, december és január kivételével lefedi a fogyasztó energiaigényét. A nyári időszakban túltermelés észlelhető. A hiányzó energia pótlására egy dízel generátort alkalmazhatunk, amely ebben időszakban üzemelve biztosítja az üzemmentes működést. A fotovillamos rendszer energiatermelését és fontosabb paramétereinek a havi változását a 3. 2. táblázat tartalmazza.

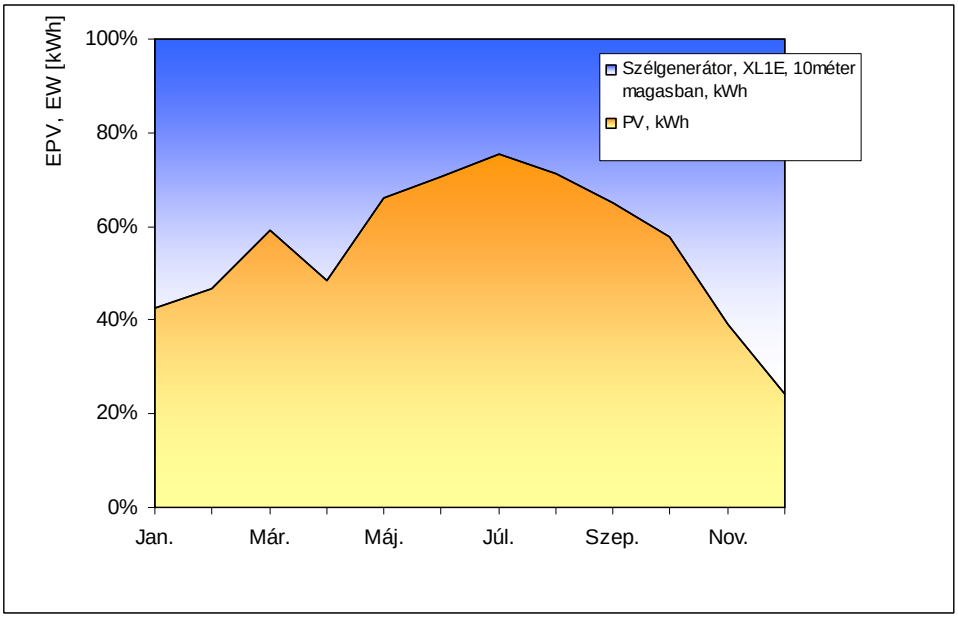
3.2. táblázat A fotovillamos rendszer energiatermelése és fontosabb paraméterei

Hónap	E_{PV},[kWh]	Havi fogyasztás, [kWh]	Energia fölösleg, [kWh]	Energia hiány, [kWh]	SOC, [%]	Pr. LOL [%]	V gázolaj, [liter]
Jan.	59,50	60,50	-1	1	24	16,90	6,1
Feb.	67,80	56,60	11,2	0	71	0	0
Már.	93,20	60,50	32,7	0	84	0	0
Ápr.	122,70	58,50	64,2	0	95	0	0
Máj.	136,60	60,50	76,1	0	97	0	0
Jún.	147,60	58,50	89,1	0	96	0	0
Júl.	154,20	60,50	93,7	0	96	0	0
Aug.	153,10	60,50	92,6	0	97	0	0
Szep.	124,60	58,50	66,1	0	94	0	0
Okt.	102,40	60,50	41,9	0	95	0	0
Nov.	56,80	58,50	-1,7	1,7	61	0,2	0,1
Dec.	41,40	60,50	-19,1	19,1	18	41,8	16,2
Éves	1259,9	714,1	545,8	21,8	77,3	5	22,4

Ha a jelen fogyasztás mellett a rendszerünket egy 1 kWp szélgenerátorral bővítjük kialakítva a hibrid rendszert kiépítésekor az elemzett helyszínen akkor a kapott rendszer energiatermelését a 3. 12 és 3. 13. ábrák mutatják.

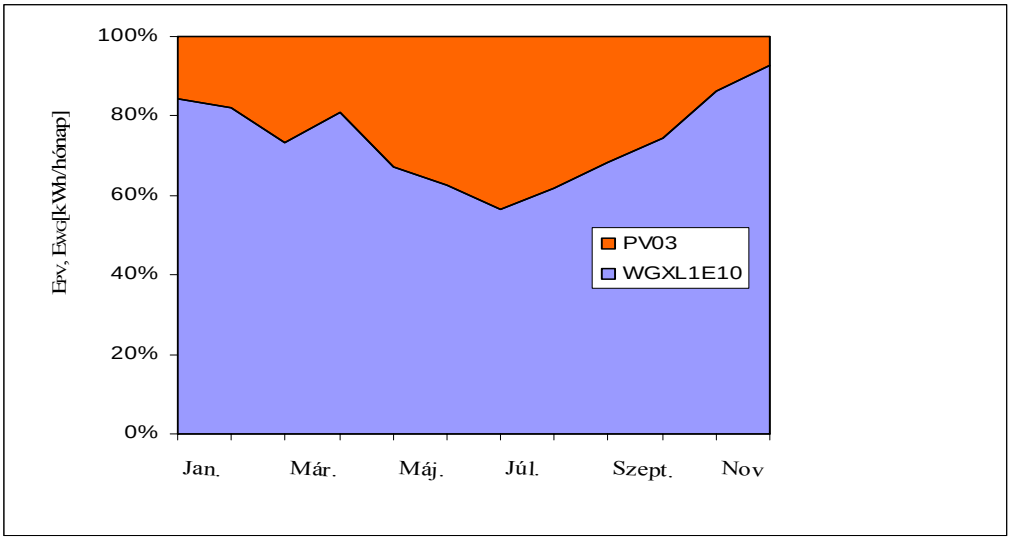


3. 12. 1 kWp csúcsteljesítményű PV és 1 kWp szél hibrid rendszer havi energiatermelése



3. 13. Hibrid rendszer energiatermelési százalékos eloszlása havi bontásban

Ha a PV arányt 30 % -ra csökkentjük akkor az így kialakított hibrid PV szél rendszer képes biztosítani a kért energiaigényt, a 3. 14.ábra.



3.14. ábra. 1kWp szél, 0.3kWp fotovillamos hibrid rendszer energiatermelés havi eloszlása

3.2.8. *Hibrid rendszerek gazdasági elemzése*

A zöld energiákat hasznosító rendszerek magas beruházási és nagyon alacsony üzemeltetési költséggel jellemezhetők. Ilyen esetekben a gazdaságosság megítéléséhez legjobb módszer az ún. életciklus elemzés (Life –Cycle Analyses), amely alapján a berendezés élettartamára vonatkozóan meghatározzuk a teljes költség nagyságát. A gazdasági elemzést egy 1 kW_p szélgenerátor és egy 300 W_p csúcsteljesítményű fotovillamos modulokból kialakított rendszerre végeztem. A rendszer alkotó elemek beruházási költségeit a 3. 3 táblázat mutatja:

3. 3. Táblázat. A hibrid rendszert alkotó elemek ára és az indulási költség

Rendszert alkotó elemek	Alkotó elemek száma	Egységár [Euró]	Összes (Euró)
PV modul KC 50	6	309	1854
Akkumulátor	12	178	2136
BCC, Töltésszabályzó, Steca tarom 234	1	265	265
Inverter AJ 1000	1	699	699
Csatlakozók szerelvények	1	400	400
Szélgenerátor	1	2500	2500
Össz beruházási anyag költség			7854
Szerelési költség 10% az anyagköltségnek			785.4
Össz indulási költség			**8639.4**

A berendezés élettartam költsége a beruházás induló költségéből és a később felmerült költségek jelenértékéből, azaz az induló időpontra diszkontált értékéből tevődik össze. Az életciklus költség elemzéskor meghatároztam a berendezés költségét figyelembe véve a szerelést, amely általában 10%-a a beruházásnak és a működési és szervizköltséget, amely évi 2 % körüli. A rendszer teljes élettartama 25 év. Ez idő alatt azonban 2 alkalommal kell cserélni az akkumulátort. Ezek a költségek a 8. illetve a 16. évben jelennek meg.

Az adatok alapján meghatároztam a későbbi időpontokban kifizetendő pénzek jelenértékét, PV (Present Value),

$$PV = \sum_{n=1}^{N} \frac{C(1+i)^{n-1}}{(1+r)^{n}} \qquad (3.\ 3)$$

Az életciklus elemzéskor a következő paramétereket használtam:

N- a berendezés élettartama (25 év)

r- éves kamatláb (10%, elvárt hozam)

i- az évi infláció becsült mértéke (7%, a romániai hosszabbtávú előrejelzések alapján)

n-az aktuális időpont, amelyben az élettartam alatt újabb

C- az n időpontban esedékes összeg

Felhasználva a táblázat adatait meghatároztam a csere során fellépő beruházások jelenértékét a 8. (PV_8) és a 16. évben (PV_{16}) megvalósított pénzkifizetésre vonatkozóan:

$$PV_8 = \frac{2136(1+0.07)^{8-1}}{(1+0.1)^{8}} = 1600$$
$$PV_{16} = \frac{2136(1+0.07)^{16-1}}{(1+0.1)^{16}} = 1283 \qquad (3.4)$$

A jelen példában az egyszerűség kedvéért a szervizköltséget nem diszkontáltam. Az élettartam költséget (LC) tehát az alábbiak szerint alakul:

LC= berendezés költsége+szerelési költség+ a 8. évi akkumulátor csere jelenértéke+ a 16 évi akkumulátor csere jelenértéke+a szervizköltség.

$$LC = 7854 + 0.1 \times 7854 + 1600 + 1283 + 0.02 \times 25 \times 7854 = 12566$$

A hibrid rendszer által termelt energia éves értékét felhasználva a rendszert alkotó elemek által termelt energia mennyiségét meghatároztam a működése alatt termelt energiamérleget, amely:

$$E_{Tot} = (E_{PVgen} + E_{Wg})N = (377 + 1194) \times 25 = 39275\text{kWh}$$

A hibrid rendszerünk által termelt villamos energia becsült önköltsége meghatározható az életciklus költség és a termelt energia értékének a hányadosával:

$$p = \frac{LC}{E_{Tot}} = \frac{12566}{39275} = 0.32\left[\frac{\text{Euro}}{\text{kWh}}\right]$$

Ez az érték magasabb, mint a jelenlegi villamosenergia piaci ára, de jóval alacsonyabb az egyes Uniós államok 1 kWh zöld energiáért adott támogatásnál (Pl Németország esetében 1 kWh PV- vel termelt energiáért a termelő 0,52 Eorot kap).

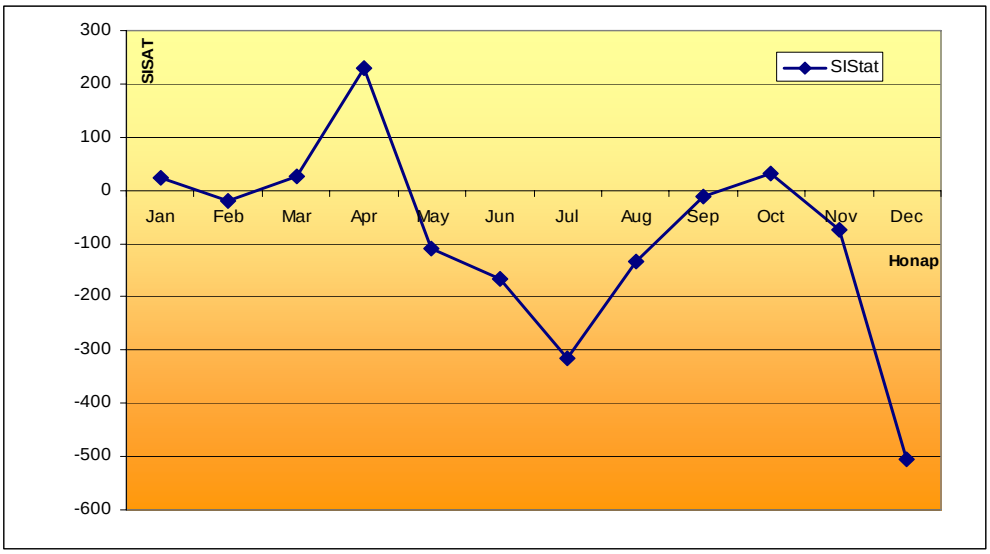
4. Új tudományos eredmények

1. Nappálya diagram szerkesztő modell

Egy tetszőleges helyszín nappálya diagramjának szerkesztésére alkalmas modellt dolgoztam ki. A modell alapján készített diagram egy célorientált műszer felhasználásával alkalmazható fotovillamos rendszerek optimális tájolására és helyzetelemzésére. Ennek segítségével kiszűrhetők a környezetből az árnyékolást előidéző elemek, és megakadályozható a "hot spot" jelenség kialakulása, amely a PV modulok tönkremeneteléhez vezethet.

2. A nap és szélenergia potenciál komplementaritása

A nap és szélenergiás hibrid rendszerek telepítése során egy adott helyszín meteorológiai adatainak az elemzésével arra a következtetésre jutottam, hogy a két energiaforrás komplementáris. A nyári időszakban a napenergia, a téliben pedig a szélenergia a domináns. Az állításaimat mérési adatokkal is alátámasztottam, és keresztkorrelációs statisztikai módszerrel igazoltam. Amennyiben a keresztkorrelációs együttható (SI_{STAT}) értéke negatív, akkor az elemzett adatsorok komplementárisak. Az ábrán bizonyítás képpen a Fekete-tenger partvidékére vonatkozó éves adatsor látható, ahol az ehhez tartozó keresztkorrelációs együttható értéke: SI_{STAT} = -1033 W^2/m^4, ami a komplemetaritást igazolja az adott régióra.



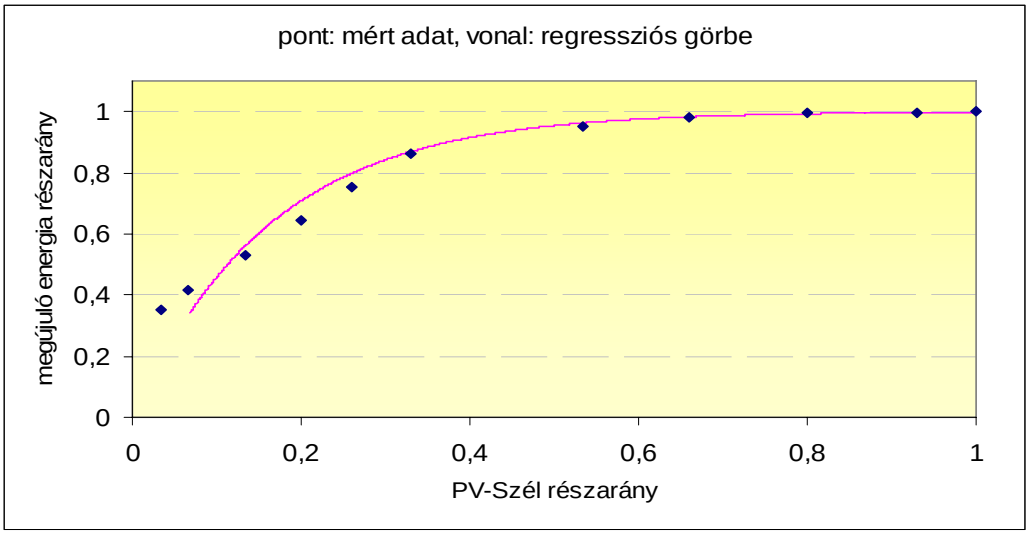
3. Hibrid nap és szélenergiás rendszer energiatermelése

Egy adott helyszín napsugárzási intenzitásának, a szélsebesség adatainak valamint a fogyasztási igényeinek a felhasználásával egy modellt dolgoztam ki, amely meghatározza a hibrid rendszer energiatermelését napi, illetve havi bontásban. A modellalkotás során rögzített fogyasztásérték és tárolókapacitás mellett figyelembe

vettem a nap- és a szélenergia potenciál komplementaritását is. A kidolgozott modell segítségével egy exponenciális összefüggést állítottam fel a hibrid rendszerre vonatkozó teljes megújuló energiaforrás részarány (f_R) valamint a PV-szél részarány ($f_{PV/W}$) között:

$$f_R\left(f_{PV/W}\right)=1-e^{\left(a\times f_{PV/W}\right)}$$

Az összefüggés érvényességi tartománya a gyakorlatban szokásos 50%-nál magasabb teljes megújuló részarány esetére (f_R>0,5) érvényes. Ennek megfelelően az összefüggés paraméterét a = -6, 158 értékre identifikáltam 0,97 korrelációs együttható mellett. A mérési adatok alapján számított és az illesztett értékeket az alábbi ábra szemlélteti.



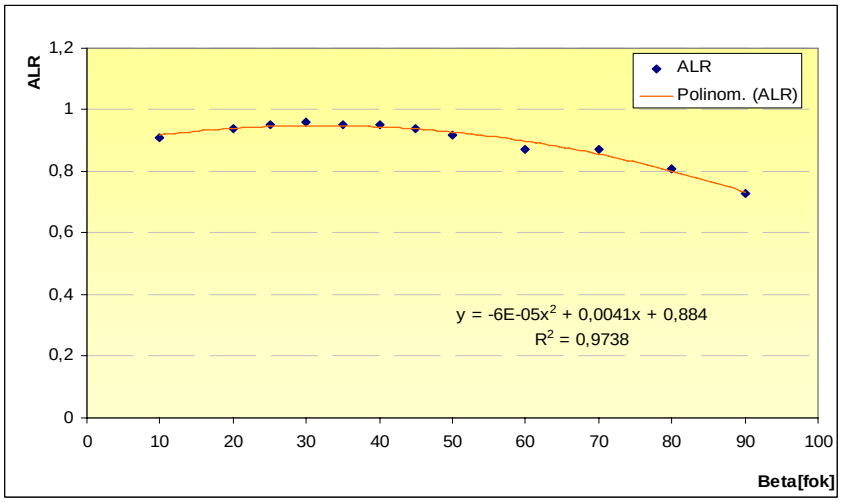
4. <u>Az energia termelési/fogyasztási arány (ALR) összefüggése a PV mező dőlésszögével</u>

Kidolgoztam egy modellt, amely alkalmas a PV mező dőlésszöge és a hibrid szigetüzemű rendszert jellemző ALR (Array Load Ratio) paraméter közti összefüggést meghatározására egy adott tárolókapacitás esetén. A kapcsolatot egy másodfokú függvény jellemzi, melynek alakja:

$$ARL(\beta)=a\beta^2+b\beta+c$$

Ennek segítségével meghatározható a PV mező optimális dőlésszöge egy adott fogyasztás és a helyszín napenergetikai potenciál adatainak a függvényében. A modell figyelembe veszi, hogy az akkumulátor maximális kisütöttség (Deep of Discharge- DOD) alatti értéken nem dolgozhat, így biztosítható a folyamatos, üzemzavarmentes kihasználás. A modell helyességét kísérleti adatokkal igazoltam. 44-46 szélességi fok tartományban az ALR paraméter változását a dőlésszög

függvényeként az alábbi ábra szemlélteti. Éves üzemmódban az optimális dőlésszög értéke: β=34º.



5. <u>A Weibull-függvény *k* paraméterének alakulása</u>

A szélsebesség eloszlásának leírása leggyakrabban a Weibull-eloszlás függvénnyel adható meg, amelynek alakja:

$$f(v) = \frac{k}{C}\left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^{k}}$$

A tíz méter magasságban végzett mérések alapján havi bontásban meghatároztam az eloszlás *k* és *C* paraméter értékeit egy romániai földrajzi tájegységre, nevezetesen a Fekete-tengeri, agigeai partvidékre. A kapott eredményt havi bontásban az alábbi táblázat tartalmazza:

Hó	I	II	III	IV	V	VI
k(-)	2,008	2,007	2,0012	2,003	2,007	2,007
C(m/s)	4,62	4,74	4,28	5,64	4,4	4,28
Hó	VII	VIII	IX	X	XI	XII
k(-)	2,004	2,007	2,003	1,997	2,007	2,005
C(m/s)	3,9	4,23	4,4	4,51	4,8	5,52

A mérési adatokból adódó számítások alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az eloszlás paraméter értéke 0,5%-on belüli eltéréssel *k*=2, vagyis a adott eloszlásfüggvény ily módon a Rayleigh eloszlásnak tekinthető. A tapasztalatok azt igazolják, hogy a maximum 15 m magasságban működő kisteljesítményű szélgépek estében a Rayleigh eloszlás alkalmazható az energiatermelés becslésére.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A nap és szélenergiát hasznosító hibrid rendszer jellemzésekor arra a következtetésre jutottam, hogy az optimális fotovillamos-szél arány, amely elkerüli a rendszer túlméretezést 1/3 PV és 2/3 szél energia. A megújuló energiaforrások felhasználásának a műszaki technikai kérdései már alapvetően megoldódtak, de még lehet találni olyan megoldásokat, amelyek az ágazatot versenyképesebbé teszik a hagyományos energiahordózókkal szemben. A közép Kelet Európai térségben még sok olyan elszigetelt település található, ahol nem meg oldott a villamos energia ellátás, ezért a jelen értekezésben bemutatott módszerek, technikai megoldások sikeresen megoldanák ezen térségek energia gondjait. A romániai tapasztalatok azt igazolták, például a hegyvidéki települések esetében, ahol a lakások szét szórtan találhatók, több kilométer távolságra egymástól, hogy a hibrid megoldás sikeres lehet. Az elkészült rendszerek elterjedésével az energia gondok megoldódhatnak sok kis tanya, gazdaság esetében. Egy jó rendszer kivitelezése a meteorológiai adatok elemzésével valósítható meg. Ezt ajánlott legalább egy éves futamidőre tervezni, ezáltal egy helyzetképet kapunk a helyszín megújuló energiaforrásainak az alkalmazhatóságáról és egy optimális helyszínre szabott technikai megoldást találhatunk. A szélméréseket nem fontos nagy toronymagasságokon végezni, mivel a kisteljesítményű szélgenerátorok 10-15 méter magságban működnek. A jelen dolgozatban bemutatott modellek alkalmasak ezen energiaforrások éves hozamának becslésére. A nap-és szélpotenciál komplemetaritására vonatkozó módszer alkalmazása ajánlott az energia mérlegek elkészítésekor. A mérő eszközök kalibrálására megadott modellel könnyen alkalmazható. A használt anemométerek az oktatási célokat szolgáló szélcsatornában tesztelhetők, a kapott pontosság elegendő a mérés elvégzéséhez. Az energia mérlegek elkészítésekor meg kell határoznunk az PV mező optimális dőlésszögét, amelyre a megadott módszer az energiafogyasztás és termelés aránya alapján kiszámítható. A tárolókapacitást a hibrid jellegre utaló görbe figyelembe vételével kell elvégezni, nem ajánlott a nagy tárolókapacitás, mivel karbantartása költséges. A PV mező telepítésekor figyelni kell a tájolásra és a környező tárgyak, épületek árnyékoló hatásának a kiszűrésére. Az ajánlott eszköz és az ere készült nappálya-diagram sikeresen alkalmazható a környezeti tanulmány elkésztéséhez. Az általam készített PCL vezérlésű energia management rendszer alkalmazása pl. egy nagyobb fogyasztókat tápláló rendszer keretében ajánlott. Fontos az adatok monitorozása, ajánlott a DC és az AC teljesítmények meghatározása, és ezek időbeni változásának az elvégzése. A tapasztalataim alapján ajánlom minden felhasználónak, rendszertervezőnek, hogy a DC oldalon az áramerősséget csak galvanikus leválasztás után mérje és használjon a mérőkörbe feszültség-áramerősség átalakítót. Ezáltal az adatgyűjtő rendszer biztonságon fog működni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásai időszakában, a térségben rohamosan fejlődött a környezetbarát energiaforrások alkalmazása, amelyek telepítését uniós jogszabályok alapján kidolgozott nemzeti programok segítik. Mindezek mutatják a kidolgozott téma időszerűségét.

Munkám során a célul kitűzött szakirodalom áttekintését követően résztvettem a szél illetve a napsugárzás potenciáljának a felmérésén, amelyet több helyszínen is végeztem, de legfőbbképpen a Fekete-tenger partján fekvő Agigean és a hegyvidéki Brassó környékén. A munkám során résztvettem az adatok kiértékelésében, és felhasználtam ezeket az energia mérlegek elkészítésekor. A használt szélsebességmérőket egy oktatási célokat szolgáló szélcsatornában teszteltetem, a mérési eredmények kiértékelésére egy virtuálisan alkotott LabView statikus modellt készítettem. A mérési adatok alapján meghatároztam egy módszert, alkalmazva a statisztikában érvényes keresztkorrelációs együttható meghatározására alkalmas függvényeket, a szél és a nappotenciál komplemetaritásának az igazolására. Ha egy helyszínen létezik e jelenség, jelentősen csökkenhet a PV aránya az adott energiamérlegben. Mint ismeretes ebben az esetben optimális az 1/3 fotovillamos illetve a 2/3 szél arány, amelyet egy adott fogyasztásnál igazoltam. Továbbá meghatároztam a mérési adatok alapján egy optimális hibridrendszer konfigurációt, amely egy kis családi gazdaság tanya energiaellátását biztosítja. Alkotóelemei egy 1 kW_p csúcsteljesítményű szélgenerátor, egy 0.32 kW_p csúcsteljesítményű -8 Kyocera KC 40 napelemből kialakított PV mező és egy 500 Ah akkumulátortelep, mely 24 V feszültségre van tervezve. Ez az adott fogyasztás mellett 3-4 nap autonómiát, biztosít a fogyasztó számára. A megadott módszerek, kidolgozott modellek más helyszínek és változó energiaigények esetében is alkalmazhatók. A mérési adatok jól használhatók a szél és napenergia hasznosítására alkalmas területek kiválasztására, az ennek megfelelő, különösen a helyszínre alkalmas, szélgenerátorok kiválasztására, figyelembe véve az átlag szélsebesség érték és a szélgenerátor indulási sebessége közti kapcsolatot.

A módszerek, modellek kialakításakor az egyszerűségre, pontosságra törekedtem. Ezek segítségével általános érvényű következtetéseket vonhattam le az adott mérési környezet esetén alkalmazható mérési és adatgyűjtő rendszerek összeállítására és az adott energiafogyasztási igényeknek technikai hátterének a biztosítására.
Továbbá jelentős érvényű ismerethez jutottam a fotovillamos és szélenergiát hasznosító (kis teljesítményű szélgenerátorok) rendszerek energiatermelésének a számítására. Ezek mind gazdasági mind technikai szempontból előnyösek

Végeredményben sikerült megállapítanom, hogy az általam kialakított hibrid rendszer és a hozzá kapcsolt adatgyűjtő milyen feltételek mellett üzemeltethető, továbbá az általam megalkotott fogyasztó energia management rendszer milyen mértékben védi meg a szigetüzem energiatároló kapacitását a mélykisüléstől.

7. SZAKMAI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

A témakörhöz kapcsolódó saját irodalom

Lektorált cikk magyar nyelven

1. **Bartha,S**.-Lágymányosi,A.-Farkas,I.-Predescu,M. (2002): Kombinált fotovillamos-szél villamosenergia-termelés a villamos hálózathoz nem kapcsolódó gazdaságban, Magyar Energetika, X. évf., 6. sz., 21-26.

Lektorált cikk idegen nyelven

1. Farkas,I.-**Bartha,S**.-Teodoreanu,D.I.-Lágymányosi,A.(2002): Design and simulation of a small scale PV system for a stand alone household, Hungarian Agricultural Engineering, No. 12/2002, Gödöllő, p. 86-88.
2. Farkas, **S. Bartha**, I. Seres, D.I.Teodoreanu, L. Kocsis,(2004): A small scale internal PV system for educational activity, Revista Electrotehnică, Electronică, Automatică, Vol. 52, Nr. 2-2004. p. 37-41.
3. Bartha, S. ,Farkas,I., Teodoreanu, Ursu V.,(2006): Characterisation of phtovoltaic modules and the use in a stand alone photovoltaic power supply, Revista Electrotehnică, Electronică, Automatică, Vol. 54, Nr. 1-2006. Pag 49-52.
4. Hegyi, K., Farkas, I., **Bartha,S**., Measuring Approch of Thermodynamical Parameters of Solar fluid, Revista Electrotehnică, Electronică, Automatică, Vol. 55, Nr. 3-4-2007. Pag 27-29.

Nemzetközi konferencia kiadvány

1. Farkas, I. - Buzás, J.-Hegyi, K.-Fekete F , M.-Predescu, M.-**Bartha,** S.(1999): Use of PV-hydro-wind hybrid system in rural tourism, Proceedings of the Conference on Energy and Agriculture towards the Third Millenium, AgEnergy'99, Athen, Greece, June 2-5, 1999, Vol. II, pp. 574-581,
2. Farkas,I.-Predescu, M.-Lágymányosi,A- **Bartha,S**. (2001): Possibility of the use of a combined solar and wind system for a mountainous remote farm, ISES World Congress, Adelaide, Australia, November 25-30, pp. 1220-1228.
3. Farkas,I.-Predescu, M.-**Bartha,S**.-Lágymányosi,A. (2001): Possibility of the use of a combined solar and wind system for a mountainous remote farm, ISES World Congress, Adelaide, Australia, November 25-30, p. 259.
4. Bartha**, S**.: Probleme legate de utilizarea biocombustibililor în România, Conferința de Biocombustibili II ., Biodízel Konferencia -Kétpó-2002 Magyar Energiaközpont KHT, CD procedings
5. Farkas,I.-**Bartha,S**.-Teodoreanu,D.I.-Lágymányosi,A.(2002): Design and simulation of a small scale PV system for a stand alone household, The 4th ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2002), Bologna, Italy, June 23-26, 2002, CD-ROM Proceedings, pp. 11.

6. **Bartha,S**.-Farkas,I.-Teodoreanu,D.I.(2003): Modelling and simulation of a small scale PV system for a stand-alone application, Proceedings of ISES Solar World Congress 2003, Göteborg, Sweden, June 14-19, p. 6

7. Farkas,I.-Seres,I.-**Bartha,S**.-Teodoreanu,D.I.(2003): Designing of a middle scale PV grid connected system, CD-ROM Proceedings of the Solar and Wind International Conference and Workshop (SWIC 2003), ICPE-Agigea Test Facility Site, Romania, September 15-20,. pp. 6.

8. Farkas,I.-Seres,I.-**Bartha,S.-**Teodoreanu,D.I.(2003): Designing of a middle scale PV grid connected system, CD-ROM Proceedings of the Solar and Wind International Conference and Workshop (SWIC 2003), ICPE-Agigea Test Facility Site, Romania, September 15-20, pp. 6

9. **Bartha,S.-** Farkas,I.- Teodoreanu,D.I -Ursu,V.(2004): An optimal sizing model and simulation of a Photovoltaic system for family house sited in rural area, The 5th ISES-Europe Solar Congress (EuroSun 2004), Freiburg, Germany, June 23-26, 2004, CD-ROM Proceedings, pp. 101.

10. I. Farkas, I. Seres, J. Buzás, M Szücs, L. Kocsis, **S. Bartha,** (2004): Design and Constructional Aspects of a 10 KWp PV System, Solar and Wind Conference SWIC 2004-Agigea

11. **S. Bartha**, I. Farkas, D. I. Teodoreanu, (2004): Simulation method of a Photovoltaic System for Family House Sited in Rural Area CNSNRE Congress-2004-Targoviste

12. **Bartha, S.** Farkas, D.I.Teodoreanu,(2005): An optimal sizing and simulation of the stand- alone PV applications, Brasov CSE 01, p. 220-228.

13. Teodoreanu D. I.,Ursu,V., Teodoreanu, M, Atanasiu, B.Cristea, Gh, **Bartha**, **S.** ,Sontea, S,(2006): Sisteme hibride pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din zone izolate, Foren 2006, 15-20 iunie Neptun, s4-03 CD ROM Procedengs

14. Sizing aspects of small scale grid connected system, ISES Solar World Congress, 2007 Beijing

15. **Bartha**, **S.** D.I.Teodoreanu, V.Ursu, C. Negreanu, I. Badarau,(2008): An optimal sizing and simulation of the small scale stand alone PV-Wind energy system for remoute area, Brasov, CSE 02, p. 151-156.

Nemzetközi konferencia absztrakt

1. **Bartha,S**.-Nita,I.-Predescu,M.(2001): Modeling Lead-Acid Battery Capacity for Solar Typical Conditions E&E 7th Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, November 5-6, p. 24

2. **Bartha, S.-**Teodoreanu, D. I-Ursu, V.-Pencioiu P.(2001): Sandia Photovoltaic Performance Modell for I-V Curve Tracer E&E 8th Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, November 4-5, p. 18.
3. Pencioiu P- **Bartha, S**.-Teodoreanu, D. I-Ursu, V.(2001): PV-wind system for remoute multimedia application E&E 8th Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, November 4-5, p. 23

4. **Bartha, S.-**Teodoreanu, D. I-Ursu.,(2004): Preliminary design and planning of a small scale integrated PV system for stand-alone houshold, Gödöllő, November 8-9, 2004, p. 17.
5. **Bartha, S.** Teodoreanu D. I. Ursu, V.,(2005): A simplified optimal method to sizing and simulation of the stand- alone PV-wind applications, E&E2005
6. **Bartha, S.** Teodoreanu D. I.,Ursu, V.,Sontea, S.,(2006):Characterisation and Modelling of Small Scale Grid Connected PV System, E&E2006Teodoreanu D, **Bartha, S.**. I. Ursu, V, Teodoreanu, M. (2006):Romanian PV Platform, E&E2006

Kutatási jelentés

1. **Farkas**,**I.-**Buzás,J-Lágymányosi,A-Teodoreanu,D.I.-**Bartha,S**.,(2002): Overview of solar energy applications in Romania and Hungary, Research Report, Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, No 26-research report
2. **Farkas**,I.-Buzás,J.-Hegyi,K.-**Bartha,S**.-Teodoreanu,D.I.,(2003): Modelling and simulation of a solar thermal system with Matlab/Simulink, Research Report, Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, No 32, October 2003

Könyvek:

1. **Bartha,** S., Farkas I., Teodoreanu, I.D., Seres,I., Farkas, M.(2006): Solar Photovoltaic Application, Bucuresti Editura Electra 2006 p 3-92.
2. **Bartha,** S., Badarau, I., Teodoreanu, I.D.,Negreanu, C.(2009): Teoria sistemelor de reglare automata in ingineria mediului, Bucuresti Editura Electra 2006 p 128-182.

Hivatkozás

Farkas, I.,(2003): Napenergia a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó Budapest, p.283.